



حكومة إقليم كوردستان ـ العراق
وزارة التربية ـ المديرية العامة للمناهج والمطبوعات

العلـــوم للجميـــع

الكيمياء

كتاب الطالب - الصف الحادي عشر العلمي

الطبعة السابعة
٢٠١٥م / ٢٧١٥ كوردي / ١٤٣٦ هـ

الأشراف الفني على الطبع
عثمان پيرداود كواز
آمانج اسماعيل عبدي

المحتويات

الجزءُ الأول

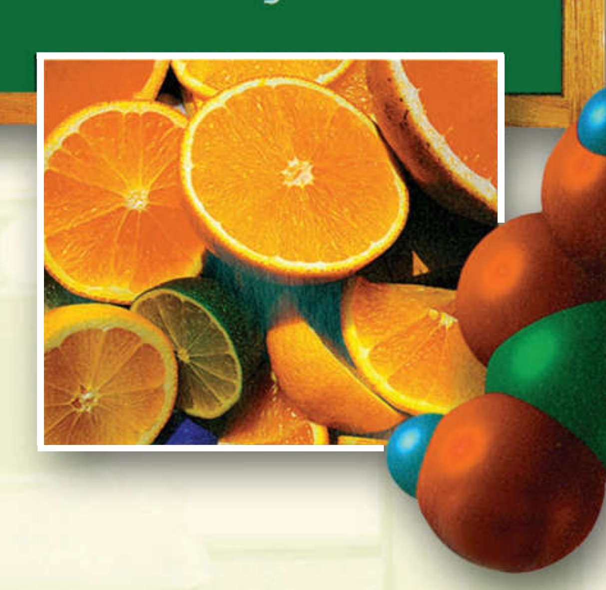
الجزءُ الثاني

الوحدة

1

لغةُ الكيمياء

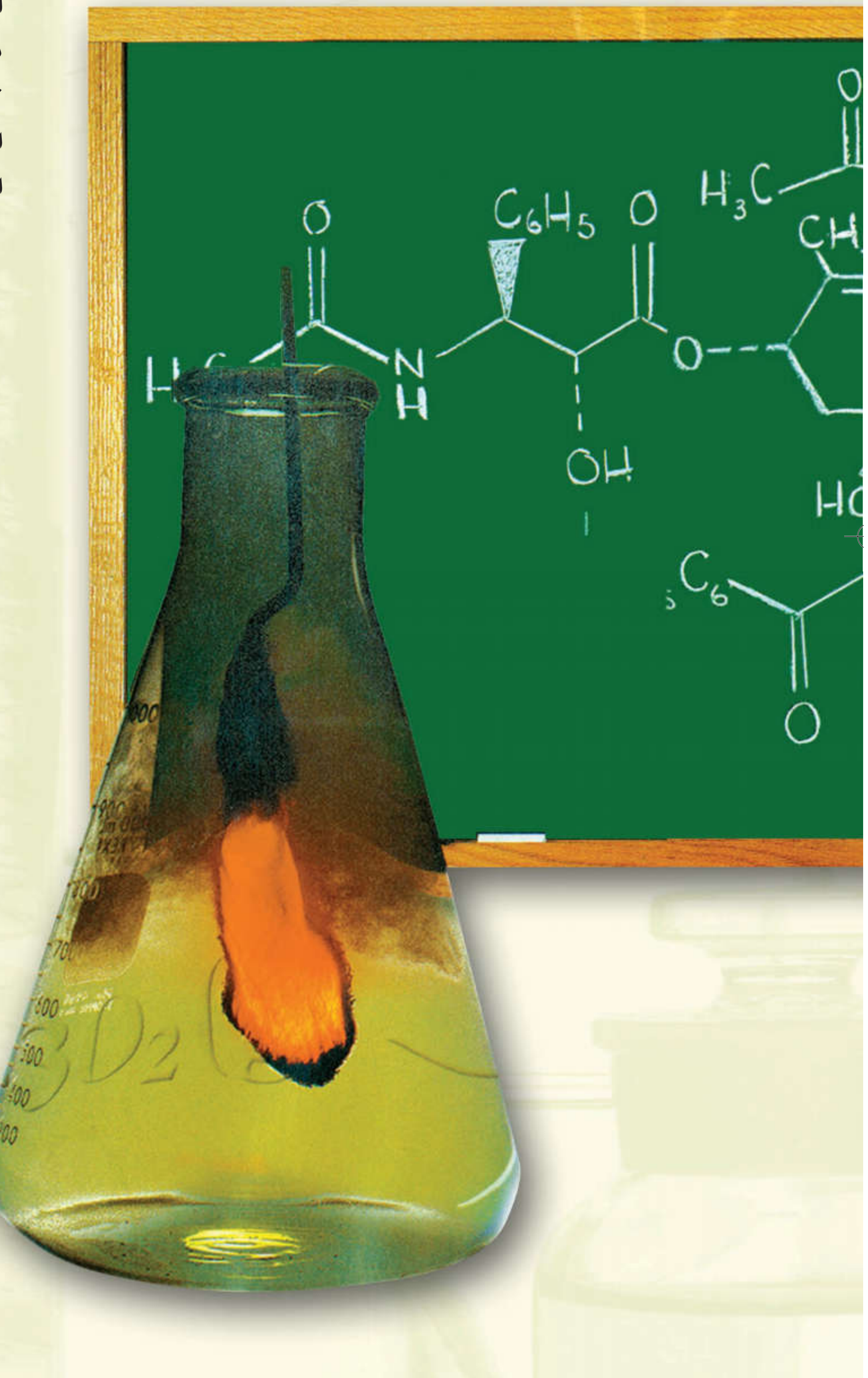
الفصول



يقول جوزيف جريفن:

إن الاستماعَ إلى المحاضراتِ وقراءةَ الكتب وحدَهما لا يجديانِ نفعًا لمتعلمِ الكيمياء، لأن هذه المادةَ تُدرَّسُ فقط من خلالِ تطبيقاتِها العملية. إن تجربةً واحدةً تُنفَّذُ بشكل دقيق من قِبَل المتعلمِ ويستوعبُها بالتفصيل، تقدِّمُ له معلوماتٍ أكثرَ من كتابٍ بكاملِه. أيُّها القارئ، أيُّ شيءٍ يحفِّزُك أكثرَ من هذا على القيامِ بالتجارب؟

(من تاريخ الكيمياء لنورتون)



الفصل 1

الصِّيَغُ والمركّباتُ الكيميائية



يستعملُ الكيميائيونَ أسماءً وصِيَغًا لوصفِ التركيبِ الذَّرِّي للمركّبات

أسماءٌ وصِيَغٌ كيميائية

القســـم 1-1

مؤشراتُ الأداء

- يوضّحُ أهميةَ الصيغةِ الكيميائية.
- يحددُ صيغةَ مركّبٍ أيونيٍّ مُكوَّنٍ من أيونين.
- يسمي مركّبًا أيونيًّا انطلاقًا من صيغته الكيميائية.
- يستعملُ بادئات لتسمية مركب جزيئيٍّ ثنائيٍّ انطلاقًا من صيغتِه.
- يكتبُ صيغةَ مركّبٍ جزيئيٍّ ثنائيٍّ انطلاقًا من اسمِه.

يتجاوزُ العددُ الإجماليُّ للمركّباتِ الكيميائية، الطبيعيِّ منها والمصنّع، الملايين. لبعض هذه الموادِّ أسماءٌ شائعةٌ في حياتِنا اليومية. على سبيلِ المثال، تُعرفُ كربوناتُ الكالسيوم باسمِ حجرِ الكلسِ أو الحجرِ الجيري، ويُعرفُ كلوريدُ الصوديوم باسمِ ملحِ الطعام، بينما لا يُعرفُ أكسيدُ ثنائيِّ الهيدروجين إلا باسمِه المتداولِ الماء.

ستتعرّفُ في هذا الفصلِ على بعضِ القواعدِ التي تُستعمَلُ لتسميةِ مركّباتٍ كيميائيةٍ بسيطة.

أهميةُ الصيغةِ الكيميائية

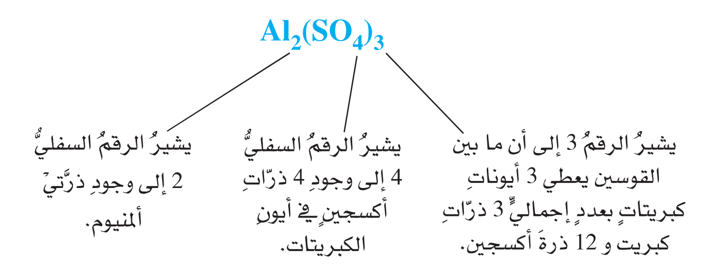
تدلُّ الصيغةُ الكيميائيةُ على العددِ النسبيِّ لكلِّ نوعٍ من الذرّاتِ الموجودة في المركّبِ الكيميائي. بالنسبةِ لمركّبٍ جزيئيٍّ (تساهمي)، تُظهرُ الصيغةُ عددَ ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ موجودٍ في جزيءٍ واحدٍ من المركّب، كما هو في الصيغةِ التاليةِ لجزيءِ الأوكتان، المركّبِ الهيدروكربوني (المكوّنِ من كربونٍ وهيدروجين):

$$C_8H_{18}$$

يشيرُ الرقمُ السفليُّ إلى وجودِ 8 ذرّاتٍ من الكربون في جزيءِ الأوكتان.

يشيرُ الرقمُ السفليُّ إلى وجودِ 18 ذرةً من الهيدروجين في جزيءِ الأوكتان.

تتكوّنُ المركّباتُ الأيونية، على عكسِ المركّباتِ الجزيئية، من شبكةٍ من الأيوناتِ الموجبةِ والسالبة ترتبطُ بقوةٍ بعضُها ببعضٍ عن طريقِ التجاذبِ المتبادل. كذلك، تتمثلُ الصيغةُ الكيميائيةُ للمركّبِ الأيونيِّ في صيغةِ الوحدةِ الواحدة، أي النسبةِ الأبسطِ من الأيوناتِ الموجبة (الكاتيونات) والأيوناتِ السالبة (الأنيونات) في المركّب. وهكذا تكونُ الصيغةُ الكيميائيةُ للمركّبِ الأيوني، «كبريتاتِ الألمنيوم»، مؤلفةً من كاتيوناتِ الألمنيوم وأنيوناتٍ متعددةِ الذرّاتِ من الكبريتات، وتكتبُ على الشكلِ التالي:



يجبُ الانتباهُ إلى طريقةِ استعمالِ القوسين. فهما يستعملان للدلالةِ على أن الأيوناتِ متعددةَ الذرّاتِ هي وحدةٌ بحدِّ ذاتِها، والرقمُ السفليُّ 3 يشيرُ إلى الوحدةِ بكلِّ محتوياتِها. لاحظْ أنه لا يوجدُ رقمٌ سفليٌّ بجانبِ رمزِ الكبريت، فعندَما لا يوجدُ رقمٌ سفليٌّ بجانبِ رمزِ العنصر، تكونُ قيمةُ ذلك الرقم 1.

أيوناتٌ أحاديةُ الذرّة

يُكوِّنُ الكثيرُ من عناصِرِ المجموعاتِ الرئيسةِ أيوناتٍ ذاتَ ترتيبٍ إلكترونيٍّ يماثلُ الترتيبَ الإلكترونيَّ للغازاتِ النبيلةِ (الخاملة) بكسبِ أو فَقْدِ إلكترونات. فعلى سبيلِ المثال، تفقِدُ فلزّاتُ المجموعةِ 1 إلكترونًا واحدًا لتصبحَ كاتيوناتٍ ذاتَ شحنةٍ 1+، كما في Na^+. وتفقِدُ فلزّاتُ المجموعةِ 2 إلكترونينِ لتعطيَ كاتيوناتٍ ذاتَ شحنةٍ 2+، كما في Mg^{2+}. ***تُعرفُ الأيوناتُ التي تتكونُ من ذرةٍ واحدةٍ باسمِ الأيوناتِ أُحاديةِ الذرّة* monatomic ions.** وتكتسبُ لافلزّاتُ المجموعاتِ 15، 16، 17 إلكتروناتٍ لتكوِّنَ أنيونات. فالنيتروجين في المركّباتِ الأيونيةِ، مثلاً، يكوِّنُ أنيوناتٍ ذاتَ شحنة 3−، N^{3-}، لأنّ الإلكتروناتِ الثلاثةَ المضافةَ إلى الخمسةِ الموجودةِ في المستوى الخارجيِّ لذرّاتِ النيتروجين يعطي مستوًى خارجيًّا ممتلئًا بثماني إلكترونات. كذلك يكوِّنُ عنصرا المجموعةِ 16، الأكسجينُ والكبريت، أنيوناتٍ ذاتَ شحنةٍ 2−، وتكوِّنُ الهالوجيناتُ في المجموعةِ 17 أنيوناتٍ ذاتَ شحنةٍ 1−.

لا تكوِّنُ جميعُ عناصرِ المجموعاتِ الرئيسةِ أيوناتٍ بسهولة. فبدلاً من أن تكتسبَ أو تفقدَ ذرّاتُ الكربون والسيليكون إلكترونات، فإنها تكوِّنُ روابطَ تساهميةً تشارِكُ فيها بإلكتروناتٍ مع ذرّاتٍ أخرى. وتميلُ عناصرُ أخرى إلى تكوينِ أيوناتٍ ليس لها ترتيبُ الغازِ النبيل. فعلى سبيلِ المثال، يصعبُ على فلزّاتِ المجموعةِ 14 (كالقصديرِ والرصاص) أن تفقدَ أربعةَ إلكتروناتٍ ليكونَ لها ترتيبُ الغازِ النبيل، إلا أنها تميلُ إلى فَقْدِ إلكترونينِ من أفلاكِ *p* الخارجيةِ مع احتفاظِها بإلكترونَي الفلك *s* ليكوِّنا كاتيوناتٍ 2+.

تسميةُ الأيوناتِ أحاديةِ الذرّة

تُعرَفُ الكاتيوناتُ أحاديةُ الذرّةِ عادةً باسمِ عنصرِها، كما في المثالينِ إلى اليمين. أما تسميةُ الأنيوناتِ أحاديةِ الذرّةِ فتتُّم على النحوِ التالي: يضافُ مقطع -يد (-ide) في نهايةِ اسمِ العنصر، وفي بعضِ الحالاتِ تحذفُ نهايةُ اسمِ العنصرِ ويُزادُ المقطعُ -يد إلى جذرِ الاسم، كما يظهرُ في المثالينِ أعلى الصفحة التالية (إلى اليسار).

تسمية الكاتيونات

K^+

كاتيون البوتاسيوم

Mg^{2+}

كاتيون المغنيسيوم

ويوضحُ الجدولُ 1-1 أسماءَ ورموزَ الكاتيوناتِ والأنيوناتِ أحاديةِ الذرّةِ مرتبةً بحسبِ شحناتِها. يُشتملُ الجدولُ على أسماءِ عددٍ من الأيوناتِ المشتملةِ على أرقامٍ رومانية، وهي جزءٌ من نظامِ ستوك (stock system) لتسميةِ الأيوناتِ والعناصرِ الكيميائية. وستطَّلِعُ بإذنِ الله، لاحقًا في هذا الفصل، بتفصيلٍ أكثر، على نظامِ ستوك وغيرِهِ من الأنظمةِ المستعملةِ لتسميةِ المركباتِ الكيميائية.

تسميةُ الأنيونات

F	F^-
فلور	أنيون فلوريد
N	N^{3-}
نيتروجين	أنيون نيتريد

الجدول 1-1 بعضُ الأيوناتِ أحاديةِ الذرّة

العناصرُ الرئيسة

1+		2+		3+			
ليثيوم	Li^+						
صوديوم	Na^+	مغنيسيوم	Mg^{2+}	ألمنيوم	Al^{3+}		
بوتاسيوم	K^+	كالسيوم	Ca^{2+}				
روبيديوم	Rb^+	سترنشيوم	Sr^{2+}				
سيزيوم	Cs^+	باريوم	Ba^{2+}				
1–		**2–**		**3–**			
فلوريد	F^-	أكسيد	O^{2-}	نيتريد	N^{3-}		
كلوريد	Cl^-	كبريتيد	S^{2-}				
بروميد	Br^-						
يوديد	I^-						

عناصرُ المجمعة-*d*

1+		2+		3+		4+	
نحاس (I)	Cu^+	كادميوم	Cd^{2+}	كروم (III)	Cr^{3+}	فناديوم (IV)	V^{4+}
فضة	Ag^+	كروم (II)	Cr^{2+}	حديد (III)	Fe^{3+}		
		كوبالت (II)	Co^{2+}	فناديوم (III)	V^{3+}		
		نحاس (II)	Cu^{2+}				
		حديد (II)	Fe^{2+}				
		منجنيز (II)	Mn^{2+}				
		زئبق (II)	Hg^{2+}				
		نيكل (II)	Ni^{2+}				
		فناديوم (II)	V^{2+}				
		خارصين	Zn^{2+}				

المركّباتُ الأيونيةُ الثنائية

تُعرَفُ المركّباتُ التي تتألفُ من عنصرينِ مختلفينِ باسمِ المركّباتِ الثنائية **binary compounds**. في هذه المركّباتِ يتساوى العددُ الكليُّ للشحناتِ الموجبةِ مع الشحناتِ السالبة. فمثلاً، يتحدُ المغنيسيوم مع البروم ليكوّنا المركّبَ الأيونيَّ بروميدَ المغنيسيوم. يُكوِّن المغنيسيوم، وهو فلِزٌّ من المجموعةِ 2، الكاتيون Mg^{2+}. لاحظْ أنّ 2+ في الـ Mg^{2+} تُكتَبُ كرقمٍ علوي. والبروم، وهو هالوجين، يُكوِّنُ الأنيون Br^- عند اتحادِهِ مع فلِزّ. في كلِّ صيغةِ وحدةٍ من بروميدِ المغنيسيوم، يلزمُ وجودُ اثنينِ من أيوناتِ Br^- ليوازنا الشحنةَ 2+ العائدة لكاتيونِ المغنيسيوم Mg^{2+}. لذلك يجبُ أن يَظهرَ في صيغةِ المركّبِ كاتيونٌ واحدٌ من Mg^{2+} وأنيونانِ من Br^-. ويُكتبُ رمزُ الكاتيون أولاً.

الأيوناتُ المتحدةُ هي: Mg^{2+}، Br^-، Br^-، والصيغةُ الكيميائيةُ للمركّبِ هي $MgBr_2$

لاحظْ أنّ 2 في الـ Br_2 تُكتبُ كرقمٍ سفلي. ولا تظهرُ شحناتُ الأيوناتِ في الصيغة. وهذا ما يتمُّ عادةً عند كتابةِ صيغِ المركّباتِ الأيونيةِ الثنائية.

وللمساعدةِ في تحديدِ الأرقامِ السفلية في صيغِ المركّباتِ الأيونية، يمكنُ المبادلةُ بين الشحناتِ الموجبةِ والسالبة. وعمليةُ المبادلةِ هذه هي طريقةٌ لموازنةِ الشحناتِ بين الأيوناتِ في المركّبِ الأيوني. على سبيلِ المثال، تُحدَّدُ صيغةُ المركّبِ المكوَّنِ من أيونِ الألمنيوم Al^{3+}، وأيونِ الأكسيد O^{2-} على الشكلِ التالي:

1. *اكتبْ رموزَ الأيوناتِ جنبًا إلى جنب، واكتبْ الكاتيون أولاً (بدءًا من اليسار).*

$$Al^{3+}\ O^{2-}$$

2. *بادلِ الشحناتِ في ما بين الأيونات، مستعملاً القيمةَ المطلقةَ لشحنةِ كلِّ أيونٍ كرقمٍ سفليٍّ للأيونِ الآخر.*

$$Al_2^{3+}\ O_3^{2-}$$

3. *تفحّصِ الأرقامَ السفليةَ واقسمْها على أكبرِ عاملٍ مشتركٍ لإعطاءِ أصغرِ نسبةٍ ممكنةٍ تستخدَمُ كرقمٍ صحيحٍ للأيونات. ثم اكتبِ الصيغةَ بعدئذٍ.*

بعد ضربِ الشحنةِ بالرقمِ السفلي، يتبيَّنُ أن الشحنةَ التي تحتوي على كاتيونَي الألمنيوم Al^{3+} $(2 \times 3+ = 6+)$ تُساوي الشحنةَ الموجودةَ على ثلاثةِ أنيوناتٍ O^{2-} $(3 \times 2- = 6-)$، وأن أكبرَ عاملٍ مشتركٍ للأرقامِ السفلية هو 1. وبذلك تُكتبُ الصيغةُ الصحيحةُ كالتالي:

$$Al_2\ O_3$$

تسميةُ المركّباتِ الأيونيةِ الثنائية

تعتمدُ تسميةُ **nomenclature** المركّباتِ الأيونيةِ الثنائيةِ على جمعِ أسماءِ أيوناتِ المركّبِ الموجبةِ والسالبة، حيث يُكتبُ اسمُ الأنيون أولاً (من اليمين)، ويليهِ اسمُ الكاتيون.

ولا تَظهرُ في معظمِ المركّباتِ الأيونيةِ البسيطةِ نسبةُ الأيوناتِ في اسمِ المركّب، لأنها معروفةٌ من الشحناتِ النسبيةِ لأيوناتِ المركّب. وفيما يلي طريقةٌ لتسميةِ مركّبٍ أيونيٍّ ثنائي:

Al_2O_3

اسم الأنيون	اسم الكاتيون
أكسيد	ألمنيوم

ويكونُ الاسمُ أكسيدَ الألمنيوم

مسألةٌ نموذجية 1-1

اكتبْ صيغَ المركّباتِ الأيونيةِ الثنائيةِ التي تتشكلُ بين العناصرِ التالية:

أ. الخارصين واليود **ب. الخارصين والكبريت**

الحلّ

اكتبْ رموزَ الأيوناتِ جنبًا إلى جنب. اكتبِ اسمَ الكاتيون أولاً (بدءًا من اليسار).

أ. $Zn^{2+}\ I^{-}$

ب. $Zn^{2+}\ S^{2-}$

بادلْ بين القيمِ المطلقةِ للشحناتِ لتحديدِ الأرقامِ السفلية.

أ. $Zn_1^{2+}\ I_2^{-}$

ب. $Zn_2^{2+}\ S_2^{2-}$

دقق الأرقامَ السفليةَ واقسمْها على أكبرِ عاملٍ مشترك، لمعرفةِ أصغرِ نسبةٍ ممكنةٍ من الأرقامِ الصحيحةِ للأيونات. اكتبْ بعدئذٍ الصيغة.

أ. الأرقامُ السفليةُ صحيحةٌ حسابيًّا، لأنها تعطي شحناتٍ كليةً متساوية $+2 = 1 \times +2$ و $-2 = 2 \times -1$. أكبرُ عاملٍ مشترَكٍ للأرقامِ السفليةِ هو 1.
أصغرُ نسبةٍ ممكنةٍ من الأرقامِ الصحيحةِ للأيوناتِ في المركّبِ هي 1:2.
الرقمُ السفليُّ 1 لا يُكتبُ في الصيغة، لذلك تكونُ الصيغةُ ZnI_2.

ب. الأرقامُ السفليةُ صحيحةٌ حسابيًّا، لأنها تعطي شحناتٍ كليةً متساوية $+4 = 2 \times +2$ و $-4 = 2 \times -2$. أكبرُ عاملٍ مشترَكٍ للأرقامِ السفليةِ هو 2.
أصغرُ نسبةٍ ممكنةٍ من الأرقامِ الصحيحةِ للأيوناتِ في المركّبِ هي 1:1.
إذنْ الصيغةُ الصحيحةُ هي ZnS.

تمارينُ تطبيقية

1. اكتبْ صيغَ المركّباتِ الأيونيةِ الثنائيةِ التي تتكوّنُ من العناصرِ التالية:

أ. بوتاسيوم ويود
ب. مغنيسيوم وكلور
ج. صوديوم وكبريت
د. ألمنيوم وكبريت
هـ. ألمنيوم ونيتروجين

2. سمِّ المركّباتِ الأيونيةَ الثنائيةَ من الصيغِ التالية:

أ. $AgCl$
ب. SrF_2
ج. BaO
د. $CaCl_2$

الجواب

1. أ. KI ب. $MgCl_2$ ج. Na_2S د. Al_2S_3 هـ. AlN

2. أ. كلوريدُ الفضة
ب. فلوريدُ السترنشيوم
ج. أكسيدُ الباريوم
د. كلوريدُ الكالسيوم

نظامُ ستوك للتسمية

تُكوِّنُ بعضُ العناصرِ، كالحديد، نوعينِ أو أكثرَ من كاتيوناتٍ ذاتِ شحناتٍ مختلفة. ولتمييزِ الأيوناتِ الموجبةِ التي تكوِّنُها هذه العناصر، يُستعمَلُ نظامُ ستوك للتسمية، لأنه يعتمدُ الأرقامَ الرومانيةَ للدلالةِ على شحنةِ الكاتيون، ويوضعُ الرقمُ بين قوسينِ مباشرةً بعد اسمِ الفلزّ.

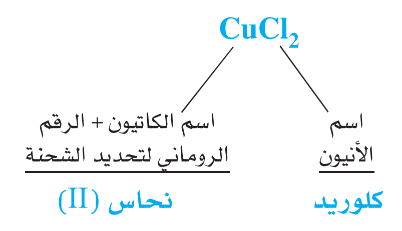
Fe^{3+}	Fe^{2+}
حديد (III)	حديد (II)

لا تحتوي أسماءُ الفلزّاتِ التي تكوِّنُ عادةً كاتيونًا واحدًا فقط على أرقامٍ رومانية.

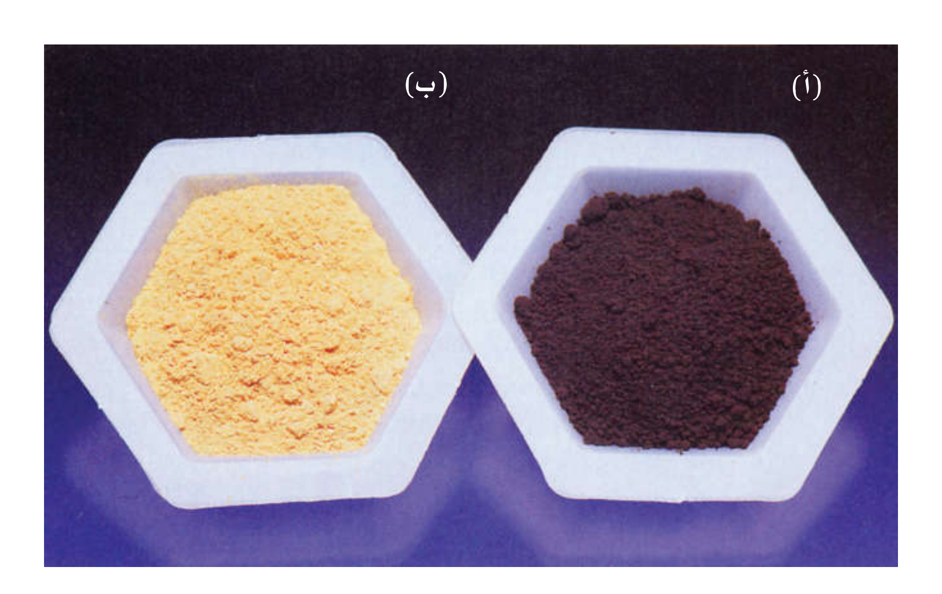
Al^{3+}	Ba^{2+}	Na^{+}
ألمنيوم	باريوم	صوديوم

كما لا يوجدُ غالبًا أيُّ عنصرٍ يكوِّنُ أكثرَ من أنيون أحاديِّ الذرّة.

ويمكنُ توضيحُ تسميةِ مركّبٍ أيونيٍّ ثنائيٍّ، وفقًا لنظامِ ستوك، على الشكلِ التالي:



هكذا يصبحُ الاسمُ: كلوريدَ النحاس (II)



الشكل 1-1 تكوِّنُ الكاتيوناتُ المختلفةُ للفلزِّ نفسِه مركّباتٍ مختلفةً حتى وإن اتّحدتْ مع الأنيون نفسِه. قارنْ بين (أ) أكسيدِ الرصاص (IV) (PbO_2)، و (ب) أكسيدِ الرصاص (II) (PbO).

مسألةٌ نموذجية 2-1

اكتبِ الصيغةَ والاسمَ للمركّبِ المكوّنِ من الأيونين Cr^{3+} و F^{-}:

الحلّ

اكتبْ رمزَيِ الأيونينِ جنبًا إلى جنب. اكتبْ رمزَ الكاتيون أولاً (بدءًا من اليسار).

$$Cr^{3+}\ F^{-}$$

بادلْ بين القيمِ المطلقةِ للشحناتِ لتحديدِ الأرقامِ السفلية.

$$Cr_1^{3+}\ F_3^{-}$$

دققِ الأرقامَ السفليةَ واكتبِ الصيغةَ.

الأرقامُ السفليةُ صحيحةٌ حسابيًّا، لأنها تعطي شحناتٍ $3+ = 3+ \times 1$ و $-3 = -1 \times 3$. وأكبرُ عاملٍ مشتركٍ للأرقامِ السفليةِ هو 1، لذا فإن أصغرَ نسبةٍ، كعددٍ صحيحٍ للأيوناتِ في المركّب، هي 1:3. فالصيغةُ إذن هي CrF_3. وكما يظهرُ في الجدول 1-1، يكوّنُ الكروم أكثرَ من أيونٍ واحد. لذلك، فإن اسمَ أيونِ الكروم +3 يجبُ أن يتبعَهُ رقمٌ رومانيٌّ لتحديدِ شحنتِه. ولذا يصبحُ اسمُ المركبِ فلوريدَ الكروم (III).

تمارينُ تطبيقية

1. اكتبْ صيغَ وأسماءَ المركّباتِ التي تتكوّنُ من الأيوناتِ التالية:
   أ. Cu^{2+} و Br^{-}
   ب. Fe^{2+} و O^{2-}
   ج. Fe^{3+} و O^{2-}

2. أعطِ أسماءَ المركّباتِ التالية:
   أ. CuO
   ب. CoF_3

الجواب

1. أ. $CuBr_2$، بروميدُ النحاس (II)
   ب. FeO، أكسيدُ الحديد (II)
   ج. Fe_2O_3، أكسيدُ الحديد (III)

2. أ. أكسيدُ النحاس (II)
   ب. فلوريدُ الكوبالت (III)

المركّباتُ التي تحتوي على أيوناتٍ متعددةِ الذرّات

تأملِ الجدول 2-1 الذي تظهرُ فيه بعضُ الأيوناتِ المتعددةِ الذرّاتِ المعروفة. جميعُ هذه الأيونات، عدا أيونِ الأمونيوم، سالبةُ الشحنة، ومعظمُها **أنيوناتٌ أكسجينية oxyanions**، *أي أيوناتٌ متعددةُ الذراتِ تحتوي على أكسجين*. وفي حالاتٍ كثيرة، يتكوّنُ أنيونانِ مؤكسجانِ من نفسِ العنصرين. فالنيتروجين والأكسجين، على سبيلِ المثال، يتّحدانِ في كلٍّ من الأيونينِ الأكسجينيينِ NO_3^- و NO_2^-. وعند تسميةِ مركّباتٍ تحتوي على مثلِ هذه الأنيونات، يُعطى الأنيونُ الأكثرُ شيوعًا النهايةَ–ات (-ate)، فيما يُعطى الأنيون ذو ذراتِ الأكسجينِ الأقل النهايةَ–يت (-ite).

NO_2^-	NO_3^-
نيتريت	نيترات

ويعملُ، أحيانًا، عنصرانِ على تكوينِ عددٍ من الأنيوناتِ الأكسجينيةِ المختلفةِ تزيدُ عن اثنين. في هذه الحالة، الأنيون ذو ذرّاتِ الأكسجينِ الأقلِّ عددًا مما في مثيلِه الأنيون المنتهي بـ–يت يُعطى البادئةَ هيبو–hypo. والأنيون ذو ذرّاتِ الأكسجينِ الأكثرِ عددًا مما في مثيلِهِ الأنيون المنتهي بـ–ات يُعطى البادئةَ بير–per. وتتضحُ هذه التسميةُ في الأنيونات الأكسجينيةِ الأربعةِ المكوّنةِ من الكلور والأكسجين.

ClO^-	ClO_2^-	ClO_3^-	ClO_4^-
هيبوكلوريت	كلوريت	كلورات	بيركلورات

تُسمّى المركّباتُ التي تحتوي على أيوناتٍ متعددةِ الذرّاتِ بالطريقةِ التي تسمّى بها المركّباتُ الأيونيةُ الثنائية، حيثُ يُذكرُ اسمُ الأنيون أولاً ويتبعُهُ اسمُ الكاتيون. فمثلاً، يُسمّى المركّبانِ اللذانِ تُشكّلُهما الفضةُ مع أنيوناتِ النيتراتِ والنيتريت، على التوالي: نيتراتَ الفضة $AgNO_3$، ونيتريتَ الفضة $AgNO_2$. وعندما يوجدُ أكثرُ من أيونٍ واحدٍ متعددِ الذرّاتِ في مركّب، تحاطُ صيغةُ الأيون كاملةً بقوسين، كما في الصفحة 8 بالنسبةِ لكبريتاتِ الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3$، حيثُ تدلُّ الصيغةُ على أن لوحدةِ صيغةِ كبريتات الألمنيوم كاتيونَيْ ألمنيوم وثلاثةَ أنيوناتٍ من الكبريتات.

الجدول 2-1 بعضُ الأيوناتِ متعددةِ الذرّات

1+		2+			
أمونيوم	NH_4^+	ثنائيُّ الزئبق	$^*Hg_2^{2+}$		
1–		**2–**		**3–**	
أسيتات	CH_3COO^-	كربونات	CO_3^{2-}	فوسفات	PO_4^{3-}
برومات	BrO_3^-	كرومات	CrO_4^{2-}	زرنيخات (أرسينات)	AsO_4^{3-}
كلورات	ClO_3^-	ثنائيُّ الكرومات	$Cr_2O_7^{2-}$		
كلوريت	ClO_2^-	فوسفاتُ هيدروجينية	HPO_4^{2-}		
سيانيد	CN^-	أوكسلات	$C_2O_4^{2-}$		
فوسفاتٌ ثنائيُّ الهيدروجين	$H_2PO_4^-$	فوق أكسيد	O_2^{2-}		
كربوناتٌ هيدروجينية (بيكربونات)	HCO_3^-	كبريتات	SO_4^{2-}		
كبريتاتٌ هيدروجينية	HSO_4^-	كبريتيت	SO_3^{2-}		
هيدروكسيد	OH^-				
هيبوكلوريت	ClO^-				
نيترات	NO_3^-				
نيتريت	NO_2^-				
بيركلورات	ClO_4^-				
بيرمنجنات	MnO_4^-				

* يتواجد كاتيونُ الزئبق (I) على شكلِ أيونين Hg^+ متصلين الواحدُ بالآخر بواسطةِ رابطةٍ تساهميةٍ تُكتب Hg_2^{2+}.

مسألةٌ نموذجية 3-1

اكتبْ صيغةَ كبريتاتِ الفناديوم (IV).

الحلّ

اكتبْ رمزَ الأيونين جنبًا إلى جنب. اكتبْ أولاً رمزَ الكاتيون من اليسارِ إلى اليمين.

$$V^{4+} SO_4^{2-}$$

بادلْ بين الأيونينِ القيمَ المطلقةَ للشحناتِ لتحصُلَ على الأرقامِ السفلية. ضعْ قوسينِ حول الأيون متعددِ الذرّات، إذا اقتضى الأمر.

$$V_2^{4+}(SO_4)_4^{2-}$$

انظرِ الأرقامَ السفليةَ واكتبِ الصيغة.

إجماليُّ الشحناتِ الموجبةِ هو $8+ = 4+ \times 2$، وإجماليُّ الشحناتِ السالبةِ هو $-8 = -2 \times 4$. الشحناتُ متساوية، وأكبرُ عامل مشتركٍ للأرقامِ السفليةِ هو 2. لذلك، تكونُ أصغرُ نسبةٍ كعددٍ صحيحٍ للأيوناتِ في المركّبِ 1:2. فالصيغةُ هي إذن $V(SO_4)_2$.

تمارينُ تطبيقية

1. اكتبْ صيغَ المركّباتِ الأيونيةِ التالية:

أ. كلوريدِ الكالسيوم
ب. كبريتيدِ البوتاسيوم
ج. كبريتاتِ النحاس (II)
د. نيتريت الكالسيوم
هـ. بيركلورات البوتاسيوم

2. سمِّ المركّباتِ التالية:

أ. Ag_2O
ب. $KClO_3$
ج. $FeCrO_4$
د. KClO

الجواب

1. أ. $CaCl_2$ ب. K_2S ج. $CuSO_4$ د. $Ca(NO_2)_2$ هـ. $KClO_4$

2. أ. أكسيدُ الفضة
ب. كلوراتُ البوتاسيوم
ج. كروماتُ الحديد (II)
د. هيبوكلوريتُ البوتاسيوم

تسميةُ المركّباتِ الجزيئيةِ الثنائية

تتكوّنُ المركباتُ الجزيئيةُ من جزيئاتٍ أو من وحداتٍ مفردةٍ مترابطةٍ تساهميًّا. يَستعمِلُ الكيميائيونَ لتسميةِ الجزيئات الثنائية نظامَيْ تسمية. النظامُ الأحدثُ يُسمّى نظامَ ستوك لتسميةِ المركّباتِ الجزيئية، وهو يتطلبُ معرفةً لأعدادِ الأكسدة، وستتمُّ مناقشتُهُ في القسم 1-2.

أما النظامُ القديمُ لتسميةِ المركباتِ الجزيئيةِ فيعتمدُ على بادئاتٍ معيّنة. فالمركبُ الجزيئيُّ CCl_4، على سبيلِ المثال، يُسمّى رُباعي كلوريدِ الكربون carbon tetrachloride. البادئة -tetra (رُباعي) تعني أنه يوجدُ أربعُ ذرّاتِ كلورٍ في جزيءٍ واحدٍ من المركّب. ويُسمّى أكسيدا الكربون CO و CO_2، على التوالي، أُحادي أكسيدِ الكربون carbon monoxide، وثنائي أكسيدِ الكربون carbon dioxide. تدلُّ البادئةُ أُحادي (mono)، في هذه الأسماء، على ذرّةِ أكسجينٍ واحدة، وتدلُ البادئةُ ثنائي (di) على ذرّتَيْ أكسجين... وهكذا. وتُستعملُ البادئاتُ لتحديدِ عددِ الذرّات، لكنها تُستعملُ أحيانًا لتحديدِ عددِ مجموعاتِ الذرّاتِ في الجزيء، كما ترى في الجدول 3-1.

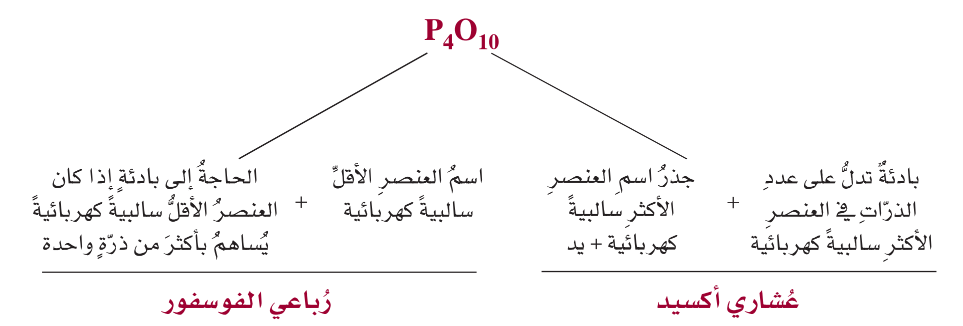
الجدول 1-3 البادئات العددية

العدد	بادئات العنصر الأعلى سالبيةً	بادئات العنصر الأقلّ سالبية	البادئةُ اللاتينية
1	أول	أحادي	mono
2	ثاني	ثنائي	di
3	ثالث	ثلاثي	tri
4	رابع	رباعي	tetra
5	خامس	خماسي	penta
6	سادس	سداسي	hexa
7	سابع	سباعي	hepta
8	ثامن	ثماني	octa
9	تاسع	تُساعي	nona
10	عاشر	عُشاري	deca

تطبّقُ قواعدُ تسميةِ المركّباتِ الجزيئيةِ الثنائية، حسبَ نظامِ التسميةِ بالبادئات، كالتالي:

1. يُكتبُ أولاً اسمُ العنصرِ الأقلِّ سالبيةً كهربائيةً إلى اليسار، تليهِ على يسارهِ البادئةُ المناسبةُ من الجدول 1-3 إذا كان يساهمُ بأكثرَ من ذرّةٍ واحدةٍ في جزيءِ المركّب.
2. يُكتبُ اسمُ العنصرِ الثاني الأعلى سالبيةً إلى اليمين وذلك بجمع البادئةِ المناسبةِ للعنصرِ الأعلى سالبيةً من الجدول 1-3 التي تدلُّ على عددِ ذرّاتِ هذا العنصرِ المساهمة مع جذرِ اسمِ العنصرِ الثاني والنهايةِ-يد (ide-).
3. تُحذف o أو a من نهاية البادئة، عندما تبدأ كلمة ما بعد البادئة بحرف صائت آخر، فمثلاً يجب أن يُكتب monoxide و pentoxide بدلاً من mon-oxide و penta-xide.

يوضّحُ النموذجُ التالي كيفيةَ توظيفِ البادئةِ في التسمية:



العنصرُ الأقلُّ سالبيةً كهربائيةً يُكتبُ أولاً إلى اليسار، يليهِ إلى اليمين العنصرُ الأعلى سالبية. وبشكلٍ عام، يكونُ ترتيبُ اللافلزّاتِ بدءًا بالأقلِّ سالبيةً في أسماءِ وصيغِ المركّباتِ الثنائيةِ كالتالي:

كربون، فوسفور، نيتروجين، هيدروجين، كبريت، يود، بروم، كلور، أكسجين، فلور.

الجدول 4-1 مركّباتٌ ثنائيةٌ للنيتروجين والأكسجين

الصيغة	الاسمُ حسبَ نظامِ البادئة
N_2O	أُحادي أكسيد ثنائي النيتروجين
NO	أُحادي أكسيد النيتروجين
NO_2	ثنائي أكسيد النيتروجين
N_2O_3	ثُلاثي أكسيد ثنائي النيتروجين
N_2O_4	رُباعي أكسيد ثنائي النيتروجين
N_2O_5	خُماسي أكسيد ثنائي النيتروجين

يتوضّحُ نظامُ البادئةِ في الجدول 1-4 بشكلٍ أكثرَ تفصيلاً حيث أُدرجتْ أسماءُ أكاسيدِ النيتروجينِ الستة.

مسألةٌ نموذجية 4-1

أ. سمِّ المركّب As_2O_5.

ب. اكتبْ صيغةَ ثنائي فلوريدِ الأكسجين.

الحلّ

أ. يحتوي أيُّ جزيءٍ من المركّبِ على خمسِ ذرّاتٍ من الأكسجين وذرّتينِ من الزرنيخ، لذلك يكونُ «الزرنيخُ الثنائيُّ» نهايةَ الاسم. ويُستدَلُّ على وجودِ خمسِ ذرّاتٍ من الأكسجين في الجزيءِ بإضافةِ البادئةِ خماسي إلى كلمةِ «أكسيد» ليصبحَ الاسمُ الكاملُ: خُماسي أكسيد ثنائي الزرنيخ.

ب. يكونُ الرمزُ الأولُ في الصيغةِ للأكسجين (من اليسار)، لأنه أقلُّ سالبيةً كهربائيةً من الفلور. إن البادئةَ غيرُ موجودة، وهذا يعني وجودَ ذرّةِ أكسجينٍ واحدةٍ فقط، في حينِ تشيرُ البادئةُ ثاني إلى وجودِ ذرّتَيِ فلور في الجزيء. وعليهِ تكونُ الصيغة OF_2.

تمارينُ تطبيقية

1. سمِّ المركّباتِ الجزيئيةَ الثنائيةَ التالية:
   - أ. SO_3
   - ب. ICl_3
   - ج. PBr_5

2. اكتبْ صيغَ المركّباتِ التالية:
   - أ. رُباعي يوديدِ الكربون
   - ب. ثُلاثي كلوريدِ الفوسفور
   - ج. ثُلاثي أكسيدِ ثنائي النيتروجين

الجواب

1. أ. ثُلاثي أكسيدِ الكبريت
   ب. ثُلاثي كلوريدِ اليود
   ج. خُماسي بروميدِ الفوسفور

2. أ. CI_4
   ب. PCl_3
   ج. N_2O_3

مركّباتٌ تساهميةٌ شبكية

تبيّنَ لك، في الفصل 6 من الصفِّ العاشر، أن بعضَ المركّباتِ التساهميةِ لا تتألفُ من جزيئاتٍ منفردة، بل ترتبطُ كلُّ ذرّةٍ منها بجاراتِها من الذرّاتِ مكوّنةً معها شبكةً ثلاثيةَ الأبعادِ تساهميةَ الترابط. لا يوجدُ في هذه المركباتِ وحداتٌ مميّزة. تدلُّ الأرقامُ السفليةُ في صيغةِ مركّبٍ تساهميٍّ شبكيٍّ على أصغرِ نسبةٍ من الأعدادِ الصحيحةِ للذرّات. وتشابهُ تسميةُ هذه المركّباتِ تسميةَ المركّباتِ الجزيئية. وفيما يلي بعضُ الأمثلةِ المألوفة:

SiC	SiO_2	Si_3N_4
كربيدُ السيليكون	ثنائي أكسيدِ السيليكون	رُباعي نيتريدِ ثلاثي السيليكون

الأحماضُ والأملاح

الحمضُ هو نوعٌ مميّزٌ من المركّباتِ التساهمية، ستدرسُهُ بتفصيلٍ أكبرَ في الفصل 3 من الصفِّ الثاني عشر، إن شاءَ الله. تُصنّفُ معظمُ الأحماضِ المستخدمةِ في المختبرِ إلى صنفين: أحماض ثنائيةٍ وأحماض أكسجينية. وتتألفُ الأحماضُ الثنائيةُ من عنصرين، الهيدروجينُ أحدُهما والثاني عادةً أحدُ الهالوجينات (الفلور، الكلور، البروم، اليود). أما الأحماضُ الأكسجينيةُ فتحتوي على هيدروجينٍ وأكسجينٍ وعنصرٍ ثالث (هو عادةً لا فِلزّ).

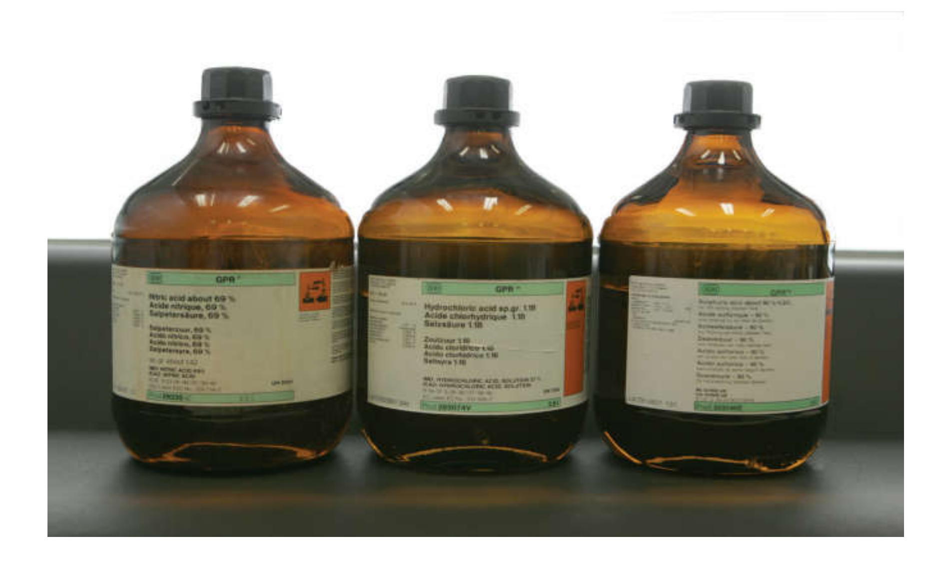
تَنتُجُ معظمُ الأيوناتِ متعددةُ الذرّاتِ من فقْدِ أيوناتِ الهيدروجين من الأحماضِ الأكسجينية، وفيما يلي بعضُ الأمثلةِ على العلاقةِ بين الأحماضِ الأكسجينيةِ والأنيوناتِ الأكسجينية.

حمضُ الكبريتيك	H_2SO_4	كبريتات	SO_4^{2-}
حمضُ النيتريك	HNO_3	نيترات	NO_3^-
حمضُ الفوسفوريك	H_3PO_4	فوسفات	PO_4^{3-}

وفي الجدول 1-5 بعضُ الأحماضِ الثنائيةِ وبعضُ الأحماضِ الأكسجينيةِ الشائعة.

الجدول 1-5 أحماضٌ ثنائية وأكسجينية شائعة

HF	حمضُ الهيدروفلوريك	HNO_2	حمضُ النيتروز	$HClO$	حمضُ الهيبوكلوروز
HCl	حمضُ الهيدروكلوريك	HNO_3	حمضُ النيتريك	$HClO_2$	حمضُ الكلوروز
HBr	حمضُ الهيدروبروميك	H_2SO_3	حمضُ الكبريتوز	$HClO_3$	حمضُ الكلوريك
HI	حمضُ الهيدرويوديك	H_2SO_4	حمضُ الكبريتيك	$HClO_4$	حمضُ البيركلوريك
H_3PO_4	حمضُ الفوسفوريك	CH_3COOH	حمضُ الأسيتيك	H_2CO_3	حمضُ الكربونيك



الشكل 1-2 بعضُ الأحماضِ الشائعةِ في المختبر. يجبُ التعاملُ مع الأحماضِ بعنايةٍ وتبعًا للإرشادات، إذ يمكنُ للأحماضِ أن تسببَ حروقًا في الجلدِ وتلفًا للثياب.

المركّبُ الأيونيُّ الذي يتألفُ من كاتيون، وأنيون مصدرُهُ الحمضُ يُسمّى الملح **salt**.
يحتوي ملحُ الطعام NaCl على أنيون مصدرُهُ حمضُ الهيدروكلوريك. ويحتوي ملحُ كبريتاتِ الكالسيوم $CaSO_4$ على أنيون مصدرُهُ حمضُ الكبريتيك. وتحتوي بعضُ الأملاحِ على أنيوناتٍ تحتفظُ بذرّةِ هيدروجين أو أكثرَ من الحمض. تُسمى هذه الأنيوناتُ بإضافةِ كلمةِ هيدروجينية أو البادئة بي- bi إلى اسمِ الأنيون. وأفضلُ مثالٍ على ذلك الأنيونُ الذي يأتي من حمضِ الكربونيك H_2CO_3.

HCO_3^-

أيونُ الكربوناتِ الهيدروجينية

أيون البيكربونات

مراجعةُ القسم 1-1

1. ما أهميةُ الصيغةِ الكيميائية؟

2. اكتبْ صيغَ المركّباتِ التي تتكوّنُ بين:

أ. الألمنيوم والبروم

ب. الصوديوم والأكسجين

ج. Sn^{2+} و I^-

د. Fe^{3+} و S^{2-}

هـ. Cu^{2+} و NO_3^-

و. NH_4^+ و SO_4^{2-}

3. سمِّ المركّباتِ التالية مستعملاً نظامَ ستوك:

أ. NaI

ب. K_2S

ج. CuBr

د. $FeCl_2$

4. اكتبْ صيغَ المركّباتِ التالية:

أ. كبريتيدِ الباريوم

ب. هيدروكسيدِ الصوديوم

ج. بيرمنجناتِ البوتاسيوم

د. كبريتاتِ الحديد (II)

هـ. ثلاثي أكسيدِ ثنائي الفوسفور

و. ثنائي كلوريدِ ثنائي الكبريت

ز. حمضِ الكلوريك

القسم 1-2

مؤشرات الأداء

- يذكرُ القواعدَ المتبعةَ لحسابِ أعدادِ الأكسدة.
- يحددُ عددَ الأكسدةِ لكلِّ عنصرٍ في صيغةِ مركّبٍ كيميائي.
- يسمّي مركّباتٍ جزيئيةً ثنائيةً موظّفًا أعدادَ الأكسدةِ ونظامَ ستوك.

أعدادُ الأكسدة

الشحناتُ الموجودةُ على الأيوناتِ التي في المركّباتِ الأيونية، تعكسُ الترتيبَ الإلكترونيَّ للذرّاتِ في هذا المركّب. ***لتحديدِ توزيعِ الإلكتروناتِ العامِّ بين الذرّاتِ المترابطةِ في مركبٍ جزيئي، أو في أيونٍ متعددِ الذرّات، يتمُّ حسابُ*** **أعدادِ الأكسدة oxidation numbers** ***للذرّاتِ التي تُكوِّنُ المركّبَ أو الأيون، وتسمّى أيضا*** **حالاتِ الأكسدة oxidation states**. ليس لأعدادِ الأكسدةِ، على عكسِ الشحناتِ الأيونية، معنًى فيزيائيٌّ دقيق. إنها في بعضِ الحالاتِ مجردُ أعدادٍ افتراضية. ولكنها مفيدةٌ في تسميةِ المركّباتِ وكتابةِ الصيغِ وموازنةِ المعادلاتِ الكيميائية.

حسابُ أعدادِ الأكسدة

تُعدُّ الإلكتروناتُ المشتركةُ عائدةً للذرّةِ الأكثرِ سالبيةً كهربائيةً في كلِّ رابطة، هذا كقاعدةٍ عامةٍ في حسابِ أعدادِ الأكسدة. وستجدُ في الإرشاداتِ التاليةِ قواعدَ أكثرَ تحديدًا لحسابِ أعدادِ الأكسدة:

1. يُعطى لذرّاتِ العنصرِ النقيِّ عددُ أكسدةٍ صفر. لذا يكونُ لذراتِ كلٍّ من الصوديوم النقي (Na)، والأكسجينِ النقي (O_2)، والفوسفورِ النقي (P_4)، والكبريتِ النقي (S_8)، عددُ أكسدةٍ يساوي صفرًا.

2. يكونُ عددُ أكسدةِ العنصرِ الأكثرِ سالبيةً كهربائيةً في مركّبٍ جزيئيٍّ ثنائيٍّ مساويًا للشحنةِ السالبةِ التي كان سيحملُها لو كانَ أنيونًا. أما الذرّةُ الأقلُّ سالبيةً فيكونُ فيها العددُ مساويًا للشحنةِ الموجبةِ التي كانت ستحملُها الذرّةُ لو كانت كاتيونًا.

3. للفلورِ عددُ أكسدةٍ 1− في جميعِ مركّباته، لأنه العنصرُ الأكثرُ سالبيةً كهربائية.

4. للأكسجينِ عددُ أكسدةٍ 2− في معظمِ مركّباته. ولكنه يشذُّ عند وجودِهِ في فوقِ الأكاسيد، كما في H_2O_2، حيث يصبحُ عددُ أكسدتِه 1−.

5. للهيدروجينِ عددُ أكسدةٍ 1+ في جميعِ المركّباتِ التي تحتوي على عناصرَ أكثرَ منه سالبيةً كهربائيةً، ويكونُ له عددُ أكسدةٍ 1− في مركباتِهِ مع الفلزّات (الهيدريدات).

6. المجموعُ الجبريُّ لأعدادِ الأكسدةِ لجميعِ الذرّاتِ في مركّبٍ متعادلٍ يساوي صفرًا.

7. المجموعُ الجبريُّ لأعدادِ الأكسدةِ لجميعِ الذرّاتِ في أيونٍ متعددِ الذرّاتِ يساوي شحنةَ الأيون.

8. القواعدُ من 1 إلى 7 تنطبقُ على الذرّاتِ المترابطةِ تساهميًّا، ومع ذلك يمكنُ لأعدادِ الأكسدةِ أن تُعيّنَ في ذرّاتِ المركّباتِ الأيونيةِ أيضًا، فيكونُ للأيوناتِ الأحاديةِ عددُ أكسدةٍ مساويًا لشحنتِها. على سبيلِ المثال، أعدادُ أكسدةِ الأيوناتِ Na^+، Ca^{2+}، Cl^-، هي على التوالي: 1+، 2+، 1−.

بما أن مجموعَ أعدادِ أكسدةِ الذرّاتِ في المركّبِ يجبُ أن تخضعَ للقاعدةِ 6 أو للقاعدةِ 7 من الإرشاداتِ المذكورةِ سابقًا، فإن حسابَ أعدادِ أكسدتِها يصبحُ ممكنًا حين لا تكونُ معروفة. وهذا ما توضحُهُ المسألةُ النموذجية 1-5.

مسألةٌ نموذجية 1-5

احسبْ أعدادَ الأكسدةِ لكلّ ذرّةٍ في المركّباتِ التالية:

أ. UF_6

ب. H_2SO_4

ج. ClO_3^-

الحلّ

أ. ابدأ بوضعِ أعدادِ الأكسدةِ المعروفةِ فوق العناصرِ الموافقةِ لها. ومن الإرشاداتِ تجدُ أن للفلورِ دائمًا عددَ الأكسدة 1–.

$$\overset{-1}{UF_6}$$

اضربْ أعدادَ الأكسدةِ المعروفةَ بعددِ الذرّاتِ الموافقة، وضَعِ المجموعَ تحتَ العناصر. هناك 6 ذرّات فلور، أي $-1 \times 6 = -6$.

$$\underset{-6}{\overset{-1}{UF_6}}$$

إن المركّب UF_6 جزيئي. وبحسبِ الإرشادات، يجبُ أن يكونَ مجموعُ أعدادِ الأكسدةِ صفرًا. لذلك، سيكونُ مجموعُ أعدادِ الأكسدةِ الموجبة 6+.

$$\overset{\quad -1}{U}\underset{+6\ -6}{F_6}$$

اقسِمْ مجموعَ أعدادِ الأكسدةِ المحسوبةِ على عددِ الذرّاتِ الموافقة. هناك ذرّةٌ يورانيوم واحدةٌ فقط في الجزيء، لذا يجبُ أن يكونَ لها عددُ أكسدة 6+.

$$\overset{+6\ -1}{UF_6}$$
$$+6\quad -6$$

ب. يكونُ عددُ أكسدةِ الهيدروجين 1+ ويكونُ للأكسجينِ في المركّباتِ العادية مثل H_2SO_4 عددُ الأكسدة 2–. ابدأ بوضعِ أعدادِ الأكسدةِ المعروفةِ فوق رموزِ العناصرِ الموافقةِ لها. ثم اضربْ أعدادَ الأكسدةِ المعروفةَ في عددِ الذرّاتِ الموافقةِ، وضعْ المجموعَ تحتها.

$$+1 \quad -2$$
$$H_2SO_4$$
$$+2 \quad -8$$

يجبُ أن يكونَ مجموعُ أعدادِ الأكسدةِ صفرًا، ولوجودِ ذرّةِ كبريتٍ واحدةٍ في كلِّ جزيء H_2SO_4، يلزمُ أن يكونَ لذرّةِ الكبريتِ عددُ أكسدة +6.

ج. لحسابِ أعدادِ أكسدةِ العناصرِ في الجزيء ClO_3^-، ابدأ كما في (أ) و(ب). تذكّرْ أن مجموعَ أعدادِ الأكسدةِ يجبُ أن يساويَ الشحنةَ الإجماليةَ للأنيون أي، 1−. عددُ أكسدةِ ذرّةِ الأكسجينِ الواحدةِ في الأيون هو 2−، لذا يصبحُ مجموعُ أعدادِ أكسدةِ ثلاثِ ذرّاتِ أكسجين 6−. ولكي يكونَ لأيونِ الكلوراتِ شحنةٌ تساوي 1−، يجبُ أن يكونَ للكلور عددُ أكسدةٍ يساوي +5.

$$\overset{+5\ \ -2}{ClO_3^-}$$
$$+5\ \ -6$$

تمارينُ تطبيقية

1. احسبْ أعدادَ الأكسدةِ لكلِّ ذرّةٍ في المركّباتِ أو الأيوناتِ التالية:

أ. CF_4 د. KH

ب. PCl_3 هـ. N_2O_5

ج. HNO_3

الجواب

1. أ. -1، +4   د. -1، +1

ب. -1، +3   هـ. -2، +5

ج. -2، +5، +1

توظيفُ أعدادِ الأكسدةِ في كتابةِ صيغِ المركباتِ وأسمائِها

للعديدِ من اللافلزّاتِ أكثرُ من عددِ أكسدةٍ واحد، كما يظهرُ في الجدول 1-6. وهناك قائمةٌ مفصلةٌ لأعدادِ الأكسدةِ في الجدولِ الملحق أ-5 صفحة 102. فيمكنُ استعمالُ هذه الأعدادِ، أحيانًا، بنفسِ طريقةِ استعمالِ الشحناتِ الأيونيةِ لتحديدِ الصيغ. لنفترضْ، على سبيلِ المثال، أنك تريدُ أن تعرفَ صيغةَ مركّبٍ ثنائيٍّ يتكوّنُ من الكبريتِ والأكسجين. استنادًا إلى حالتَيّ أكسدةِ الكبريت +4 و +6 الشائعتين، يمكنُك أن تتوقَّعَ أن الكبريتَ يكوِّنُ المركّبين المعروفين SO_2 أو SO_3.

في القسم 1-1 تمَّ توظيفُ الأرقامِ الرومانيةِ للدلالةِ على الشحناتِ الأيونيةِ في نظامِ ستوك لتسميةِ المركّباتِ الأيونية. يعتمدُ هذا النظامُ على أعدادِ الأكسدة، ويمكنُ استعمالُهُ بديلاً لنظامِ البادئةِ في تسميةِ المركّباتِ الجزيئيةِ الثنائية. في نظامِ البادئة، يُسمّى SO_2 و SO_3، تِباعًا ثنائيَ أكسيدِ الكبريتِ وثلاثي أكسيدِ الكبريت. أما بحسبِ نظامِ ستوك فهما أكسيدُ الكبريت (IV) وأكسيدُ الكبريت (VI).

الجدول 6-1 أعدادُ أكسدةٍ شائعةٌ لبعضِ اللافلزاتِ التي لها حالاتُ أكسدةٍ مختلفة *

المجموعة 14	كربون	-4، +2، +4
المجموعة 15	نيتروجين	-3، +3، +5
	فوسفور	-3، +3، +5
المجموعة 16	كبريت	-2، +4، +6
المجموعة 17	كلور	-1، +1، +3، +5، +7
	بروم	-1، +1، +3، +5، +7
	يود	-1، +1، +3، +5، +7

* بالإضافةِ إلى القيمِ المبيّنة، يعطى لذراتِ العناصرِ في حالتِها النقيةِ عددُ الأكسدةِ صفر.

وفيما يلي بعضُ الأمثلةِ الإضافيةِ لأسماءٍ صيغتْ بناءً على كلٍّ من النظامين.

	نظامُ البادئة	نظامُ ستوك
PCl_3	ثُلاثي كلوريدِ الفوسفور	كلوريدُ الفوسفور (III)
PCl_5	خُماسي كلوريدِ الفوسفور	كلوريدُ الفوسفور (V)
N_2O	أُحادي أكسيدِ ثنائي النيتروجين	أكسيدُ النيتروجين (I)
NO	أُحادي أكسيدِ النيتروجين	أكسيدُ النيتروجين (II)
PbO_2	ثُنائي أكسيدِ الرصاص	أكسيدُ الرصاص (IV)

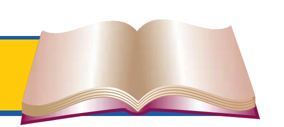
مراجعةُ القسم 2-1

1. حدِّدْ أعدادَ أكسدةِ الذرّاتِ في المركّباتِ أو الأيوناتِ التالية:

أ. HF
ب. CI_4
ج. Na_2O_2
د. H_2CO_3
هـ. NO_2^-
و. SO_4^{2-}

2. سمِّ كلاً من المركّباتِ الجزيئيةِ الثنائيةِ بحسبِ نظامِ ستوك:

أ. CI_4
ب. SO_3
ج. As_2S_3



قراءةٌ علمية

الكيمياءُ واللوحاتُ الفنية

نقلاً عن كتاب «الكيمياء والفنون التخطيطية واللدائنية» لجوناثان أ. أركسون



تُسجَّلُ درجةُ الحرارةِ والرطوبةُ النسبيةُ، في البيئةِ المحيطةِ بالأعمالِ الفنيةِ، باستخدامِ جهازِ قياسِ الرطوبةِ والحرارةِ (hygrothermograph).

تعتمدُ صيانةُ الأعمالِ الفنيةِ وحفظُها على ضبطِ عواملِ البيئةِ المحيطةِ بتلك الأعمال. فالمتاحفُ الحديثةُ مكيفةُ الهواء، تُثبَّتُ فيها درجةُ الحرارةِ بين 20°C و 22°C، والرطوبةُ النسبيةُ بين 50% و 65%. يؤمِّنُ هذا التكييفُ شروطًا مناسبةً لحفظِ معظمِ الأعمالِ الفنية، إلا أنه يلزمُ أحيانًا رفعُ الرطوبةِ أو خفضُها، وهو ما تقتضيهِ نوعيةُ القطعةِ الفنية. وهنا استلزمتْ أهميةُ المحافظةِ على الإرثِ الفنيِّ اللجوءَ إلى استخدامِ تقنياتٍ من علمِ الكيمياءِ الفيزيائية، لتحديدِ الشروطِ المثلى لذلك.

تعتبرُ إنارةُ أيِّ عملٍ فنيٍّ جزءًا من التعاملِ معه بدقةٍ في بيئتِه، إذ يحتوي الضوءُ الفلوريُّ وضوءُ الشمسِ على كثيرٍ من الأشعةِ فوق البنفسجية. وتعريضُ العملِ الفنيِّ لهذه الأشعةِ يجعلُ لونَهُ باهتًا بشكلٍ كبير. فالأوراقُ والأقمشةُ والأصباغُ العضويةُ هي أكثرُ عرضةً لبَهَتِ ألوانِها بتأثيرِ الأشعةِ فوق البنفسجية. لذا قام كيميائيو علمِ البُلمرات بتطويرِ نوعٍ خاصٍّ من اللدائنِ الأكريلية كالبلكسيجلاس UF-3 التي تقومُ بحجبِ هذه الأشعة.

من ناحيةٍ أخرى، يُعتبرُ التحكُّمُ بالرطوبةِ النسبيةِ ودرجةِ الحرارةِ والإضاءةِ من الأمورِ السهلةِ في المتاحفِ الكبيرة، غير أن العواملَ التي تؤدي إلى إتلافِ شكلِ القطعةِ الفنيةِ من الداخلِ لا تكونُ سهلةَ التحديدِ دائمًا. ففي حالةِ اللوحاتِ الزيتية، يسببُ تجمُّعُ الأتربةِ والأوساخِ تغيُّرَ لونِ طبقةِ الطلاءِ الواقية، أو توتُّرَ وتشوُّهَ قماشِ اللوحةِ أو خشبِ الإطار، ما يجعلُ اللوحةَ تبدو للنظرِ مشوهة. كان الناسُ في الماضي يستخدمونَ لتنظيفِ اللوحاتِ الزيتيةِ موادَّ خشنةً كورقِ الصنفرة، وكانوا أحيانًا يتخلونَ تمامًا عن التنظيف، وهذا أكثر ذكاءً. أما اليومَ فقد طورتِ الكيمياءُ الحديثةُ وسائلَ متعددةً لتنظيفٍ آمن، فوفَّرت موادَّ ناجحةً في التنظيفِ كالأسيتون والكحولِ ومذيباتٍ عضويةٍ أخرى. يقومُ الموظفُ المكلَّفُ بصيانةِ اللوحاتِ بعد فحصٍ وتقييمٍ شديدين بإزالةِ طبقةِ الطلاءِ الواقيةِ (الورنيش) القديمة، ويمكنُ حمايةُ العملِ الفنيِّ بتدعيمِهِ بقماشٍ جديدٍ مصنوعٍ من الراتينجِ المشمَّعِ الطبيعيِّ أو المصنَّع، ثم يملأُ الأجزاءَ التالفةَ بالأصباغِ المناسبةِ ويقومُ بتغليفِ اللوحةِ أخيرًا بطبقةٍ عازلةٍ مُحكمة. جميعُ هذه المراحلِ تمَّ تطويرُ مستلزماتِها في مختبرِ الكيمياء.

ثم إن عواملَ تلفِ الأعمالِ الفنيةِ ليست دائمًا كما أسلفنا، فقد تتعرضُ هذه الأعمالُ للسقوطِ والكسر، أو للتمزُّقِ والقطعِ والاحتراق. ولكلِّ حالةٍ من هذه الحالات، ولكلِّ عمل، طريقةُ صيانةٍ خاصةٍ به. وفي جميعِ الأحوالِ تقريبًا، تكونُ الموادُّ المستخدمة، أو حتى طريقةُ المعالجة، نتيجةً مباشرةً لمساهماتِ الكيميائيين. وأخيرًا، لولا مساهماتُ علمِ الكيمياءِ لبقيتْ عملياتُ حفظِ الأعمالِ الفنيةِ وصيانتِها بدائيةً فعلاً.

مطالعةٌ هادفة

من أيِّ نوعٍ من الجزيئاتِ تتكوّنُ اللدائنُ الأكريلية؟

طالعْ أكثر

ينتُجُ عن اتحادِ الضوءِ بمادةِ الورقِ تفاعلٌ كيميائيٌّ ضوئيّ photochemical reaction. تقصَّ آثارَ التفاعلاتِ الضوئية، واشرحِ السببَ في تغيرِ لونِ ورقِ الجرائدِ واصفرارِهِ عند تعرُّضِهِ لضوءِ الشمسِ مدةً طويلة.

القسم 3-1

مؤشراتُ الأداء

- يحسبُ كتلة الصيغةِ لمركّبٍ كيميائي.
- يعطي تعريفًا للمول اعتمادًا على عدد أفوجادرو.
- يحسبُ الكتلةَ المولية لمادةٍ معيّنة.
- يوظفُ معاملاتِ التحويل في حسابات مول–جرام–جزيء لمركّبٍ كيميائي.
- يحسبُ النسبةَ المئوية للتركيبِ لمركّبٍ كيميائي.

استعمالُ الصِّيَغ الكيميائية

تدلُّ الصيغةُ الكيميائيةُ، تبعًا لما تمَّ عرضُهُ، على العناصرِ وعلى الأعدادِ النسبيةِ للذرّاتِ أو الأيوناتِ النسبيةِ الخاصةِ بكلِّ عنصرٍ موجودٍ في المركّب. وتُمكِّنُ الصيغُ الكيميائيةُ الكيميائيينَ من حسابِ عددٍ من القيمِ المميّزةِ للمركّب.

كتلةُ الصيغة

تعلّمنا في الفصل 3 من الصفِّ العاشرِ أن لذرّاتِ الهيدروجينِ معدلَ كتلةٍ ذرّيةٍ يساوي 1.00794 amu، ولذرّاتِ الأكسجين 15.9994 amu. وكما هي الحالُ في الذرّات المنفردة، يكونُ للجزيئات ولوحداتِ الصيغ، أو للأيون، معدلُ كتلةٍ ذرّيةٍ مميّز. على سبيل المثال، نعلمُ من الصيغةِ الكيميائيةِ للماء H_2O أن جزيئًا واحدًا من الماءِ يتكوّنُ من ذرّتَيّ هيدروجينٍ وذرّةِ أكسجينٍ واحدة. تُحسبُ كتلةُ جزيءِ الماءِ بجمع كتلِ الذرّاتِ الثلاثِ في الجزيء. (في الحسابات، تُقرّبُ أرقامُ معدل الكتلِ الذريةِ إلى رقمين عشريين.)

معدّلُ الكتلةِ الذرّيةِ لـ H: 1.01 amu

معدّلُ الكتلةِ الذرّيةِ لـ O: 16.00 amu

$$\cancel{2\ \text{H ذرّات}} \times \frac{1.01\ \text{amu}}{\cancel{\text{H ذرّة}}} = 2.02\ \text{amu}$$

$$\cancel{1\ \text{O ذرّة}} \times \frac{16.00\ \text{amu}}{\cancel{\text{O ذرّة}}} = 16.00\ \text{amu}$$

معدّلُ كتلةِ جزيءِ الماء = 18.02 amu

تسمّى كتلةُ جزيءِ الماءِ «كتلة جزيئية». أما كتلةُ وحدةِ صيغةٍ واحدةٍ لـ NaCl، مثلاً، فلا تعتبرُ كتلةً جزيئية، لأن NaCl مركّبٌ أيوني. ***إن كتلةَ أيِّ وحدةٍ في صيغةٍ كيميائية تُسمّى كتلةَ الصيغة، سواءٌ كانت هذه الوحدةُ جزيئًا، أو وحدةَ صيغةٍ كاملة، أو أيونًا. وتساوي كتلةُ الصيغةِ formula mass لأيِّ جزيءٍ أو وحدةِ صيغةٍ أو أيونٍ مجموعَ معدل الكتلِ الذريةِ لجميعِ الذراتِ الممثلةِ في صيغتِها.***

الطريقةُ التي حسبنا بها أعلاه كتلةَ صيغة جزيءِ الماء يمكنُ استعمالُها في حسابِ كتلةِ أيِّ وحدةٍ أخرى ممثلةٍ في صيغةٍ كيميائية. وفي جميعِ المسائلِ التي تلي، تُقرّبُ الكتلُ الذريةُ المأخوذةُ من الجدولِ الدوريِّ إلى رقمين عشريين.

مسألةٌ نموذجية 6-1

جدْ كتلةَ صيغةِ كلوراتِ البوتاسيوم $KClO_3$.

الحلّ

احسبْ كتلةَ وحدةِ الصيغةِ لـ $KClO_3$ بجمعِ كتلِ ذرةِ بوتاسيوم واحدة، وذرةِ كلورٍ واحدة، وثلاثِ ذراتِ أكسجين. الكتلُ الذرّيةُ المطلوبةُ متوفرةٌ في الجدولِ الدوري. ويتمُّ تقريبُ الكتلةِ الذريةِ إلى رقمين عشريين.

$$\text{ذرّة } 1\ \text{K} \times \frac{39.10\ \text{amu}}{\text{ذرّة K}} = 39.10\ \text{amu}$$

$$\text{ذرّة } 1\ \text{Cl} \times \frac{35.45\ \text{amu}}{\text{ذرّة Cl}} = 35.45\ \text{amu}$$

$$\text{ذرّات } 3\ \text{O} \times \frac{16.00\ \text{amu}}{\text{ذرّة O}} = 48.00\ \text{amu}$$

$$\text{كتلةُ صيغةِ الـ } KClO_3 = 122.55\ \text{amu}$$

تمارينُ تطبيقية

1. جدْ كتلةَ الصيغةِ لما يلي:

أ. H_2SO_4

ب. $Ca(NO_3)_2$

ج. PO_4^{3-}

الجواب

1. أ. 98.09 amu

ب. 164.10 amu

ج. 94.97 amu

العلاقةُ بين الكتلةِ وعددِ الذرّات

إن مقياسَ الكتلةِ الذرّيةِ النسبيةِ يُمكِّنُ من معرفةِ عددِ ذرّاتِ عنصرٍ معينٍ في عيّنةٍ محددةِ الكتلةِ من هذا العنصر. وهناك ثلاثةُ مفاهيمَ مهمة: المولُ وعددُ أفوجادرو والكتلةُ المولية، وهي تُمثِّلُ أساسَ العلاقةِ بين الكتلةِ (بالجرام) وعددِ الذرات.

المول

يمثِّلُ المولُ وحدةَ قياسِ كمّيةِ المادةِ بحسبِ النظامِ العالميِّ للوحدات (SI). ويُعرفُ **المولُ mole** (واختصارُه mol): ***بأنه كميةُ المادةِ التي تحتوي على عددٍ من الجُسَيماتِ يساوي عددَ الذرّاتِ في 12 g من كربون-12***. والمولُ هو وحدةٌ عدديةٌ مثلُ الدزّينة. فنحنُ عادةً لا نشتري 12 قلمًا أو 24 قلمًا، بل دزّينةً أو دزّينتين. وبشكلٍ مشابه، يستخدمُ الكيميائيُّ مولاً واحدًا من الكربون أو مولين من الحديد Fe، أو 2.567 mol من الكالسيوم Ca. وسترى في الأقسامِ اللاحقةِ علاقةَ المولِ بكتلِ الذرّاتِ والمركّبات.

عددُ أفوجادرو

تمَّ تحديدُ عددِ الجسيماتِ في مولٍ واحدٍ نتيجةَ اختباراتٍ عمليّةٍ مختلفة. وبلغتْ أحدثُ قيمةٍ لهذا العدد $6.022\ 1367 \times 10^{23}$. هذا يعني أن 12 g من كربون-12 تحتوي على $6.022\ 1367 \times 10^{23}$ من ذرّاتِ كربون-12. ويُعرَفُ عددُ الجسيماتِ في مولٍ واحدٍ بعددِ أفوجادرو (نسبةً إلى العالمِ الإيطالي أميدو أفوجادرو A. Avogadro، وهو من قدّمَ تفسيرًا للعلاقةِ بين الكتلةِ وعددِ الذرّات). **عددُ أفوجادرو Avogadro's number**، ***هو عددُ الجسيماتِ الموجودةِ في مولٍ واحدٍ من المادةِ النقية***، وقد قُرِّبَ هذا العددُ إلى 6.022×10^{23}.



(أ)

الكتلةُ الموليّة

يمكنُ تعريفُ المولِ على أنه كميةُ المادةِ التي تحتوي على عددِ أفوجادرو من الجسيمات. هل يمكنُكَ أن تحسبَ الكتلةَ التقريبيةَ لمولٍ من ذرّاتِ الهيليوم؟ أنت تعرفُ أن كتلةَ مولٍ من الكربون-12 تساوي 12 g، وأن لذرّةِ الكربون-12 كتلةً ذرّيةً تساوي 12 amu، والكتلةُ الذرّيةُ لذرّةِ الهيليوم تساوي 4.00 amu، أي حواليّ ثلثِ كتلةِ ذرّةِ الكربون-12. هذا يعني أن كتلةَ مولٍ واحدٍ من الهيليوم تساوي ثلثَ كتلةِ مولٍ واحدٍ من الكربون-12. إذن كتلةُ مولٍ من ذرّاتِ الهيليوم تساوي 4.00 g.

إن كتلةَ مولٍ واحدٍ من مادةٍ نقيةٍ هي **الكتلةُ الموليّة molar mass** ***لهذه المادة***، وتكتبُ عادةً بوحدات g/mol. والكتلةُ الموليّةُ لأيِّ عنصرٍ تساوي عدديًّا كتلتَهُ الذرّية amu. فالكتلةُ الموليّةُ للّيثيوم Li، مثلاً، هي 6.94 g/mol، في حين أن الكتلةَ الموليّةَ للزئبق Hg هي 200.59 g/mol (مع تقريبِ كلِّ قيمةٍ إلى منزلتينِ عشريتين).

إن الكتلةَ الموليّةَ لأيِّ عنصرٍ تحتوي على مولٍ واحدٍ من الذرّات. فمثلاً، 4.00 g من الهيليوم He، و 6.94 g من الليثيوم Li، و 200.59 g من الزئبق Hg، كلُّها تحتوي على مولٍ واحدٍ من الذرّات. ويُظهرُ الشكل 1-3 الكتلَ الموليّةَ لثلاثةٍ من العناصرِ الشائعة.



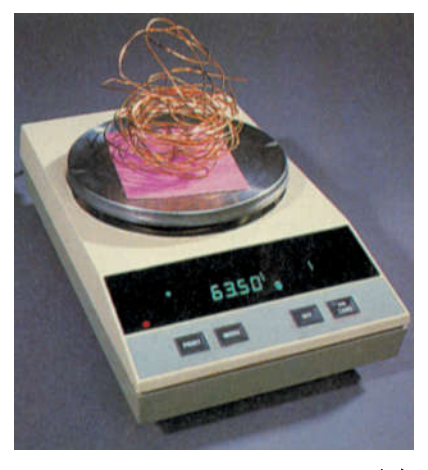
(ب)

تحويلُ الكميةِ بالمولِ إلى الكتلةِ بالجرام

يستعملُ الكيميائيونَ الكتلةَ الموليّةَ كمعاملِ تحويلٍ في الحساباتِ الكيميائية. وفيما يلي مثالٌ على ذلك: الكتلةُ الموليّةُ لعنصرِ الهيليوم He هي 4.00 g He/mol He. لنجدَ الكتلةَ بالجرامِ لكميةِ 2 mol He نضربُ بالكتلةِ المولية.

$$2.00\ \cancel{\text{mol He}} \times \frac{4.00\ \text{g He}}{\cancel{\text{mol He}}} = 8.00\ \text{g He}$$

ويبيِّنُ الشكل 1-4 كيفيةَ استعمالِ الكتلةِ الموليّةِ والمولاتِ وعددَ أفوجادرو في الربطِ بين كتلةِ العنصرِ بالجرامِ وكميتِهِ بالمولِ وعددِ ذرّاته.



(ج)

الشكل 1-3 الكتلةُ الموليّةُ التقريبيةُ لـ: (أ) الكربون (جرافيت)، (ب) الحديد (مسامير)، (ج) النحاس (سلك).



الشكل 4-1 يبينُ هذا المخططُ العلاقةَ بين الكتلةِ بالجرامِ لعنصرٍ معينٍ وبين الكميةِ بالمول وعددِ ذرّاتِ العنصرِ في عيّنةٍ منه.

مسألةٌ نموذجية 7-1

ما الكتلةُ بالجرامِ لكمية 3.50 mol من النحاس (Cu)؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: 3.50 mol Cu

المجهول: كتلة Cu بالجرام

2 خطّط

كميةُ Cu بالمول ← كتلة Cu بالجرام

طبقًا للمعلوماتِ في الشكل 4-1، فإنَّ حاصلَ ضربِ كميَّةِ عنصرٍ معيَّنٍ بالمولِ في معاملِ التحويلِ المناسبِ يساوي كتلةَ العنصرِ الجرام.

$$\text{mol Cu} \times \frac{\text{g Cu}}{\text{mol Cu}} = \text{g Cu}$$

3 احسب

الكتلةُ الموليةُ للنحاسِ (Cu) تؤخذُ من الجدولِ الدوريِّ مقرّبةً إلى 63.55 g/mol.

$$3.50 \text{ mol Cu} \times \frac{63.55 \text{ g Cu}}{\text{mol Cu}} = 222 \text{ g Cu}$$

4 قيّم

بما أن الكميةَ بالمولِ للنحاسِ (Cu) قد أُعطيَتْ لثلاثةِ أرقامٍ معنوية، فإنه يلزمُ تقريبُ الجوابِ إلى 3 أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما الكتلةُ بالجرامِ لكميةِ 2.25 mol من الحديد (Fe)؟

2. ما الكتلةُ بالجرامِ لكميةِ 0.375 mol من البوتاسيوم (K)؟

الجواب

1. 126 g Fe

2. 14.7 g K

مسألةٌ نموذجية 8-1

في إحدى التجاربِ حصلَ كيميائيٌّ على 11.9 g من الألمنيوم (Al). ما كميةُ الألمنيوم بالمولِ في هذه العيّنة؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: 11.9 g Al

المجهول: كمية Al بالمول

2 خطّط

كتلة Al بالجرام ← كمية Al بالمول

كما يبيّنُ الشكل 1-4، لكي تحصُلَ على الكميةِ بالمول يجبُ أن تضربَ الكتلةَ بالجرامِ في معاملِ التحويلِ المناسب.

$$g\ Al \times \frac{mol\ Al}{g\ Al} = mol\ Al$$

3 احسب

الكتلةُ الموليةُ للألمنيوم (Al) تؤخذُ من الجدولِ الدوريِّ مقرّبةً إلى 26.98 g/mol.

$$11.9\ \cancel{g\ Al} \times \frac{mol\ Al}{26.98\ \cancel{g\ Al}} = 0.441\ mol\ Al$$

4 قيّم

تُعتبَرُ الإجابةُ صحيحةً لأنها مؤلفةٌ من 3 أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. كم مولاً من الكالسيومِ (Ca) في 5.00 g من الكالسيوم؟

2. كم مولاً من الذهبِ (Au) في 3.60×10^{-10} g من الذهب؟

الجواب

1. 0.125 mol Ca

2. 1.83×10^{-12} mol Au

التحويلُ بواسطةِ عددِ أفوجادرو

يبيّنُ الشكلُ 1-4 كيف يُستعملُ عددُ أفوجادرو لإيجادِ عددِ ذرّاتِ عنصرٍ معيَّنٍ من خلالِ الكميةِ بالمول، أو لإيجادِ الكميةِ بالمولِ من خلالِ عددِ الذرّات، بالرغمِ من أن نوعَ هذه المسائلِ أقلُّ شيوعًا في الحساباتِ الكيميائيةِ من تحويلِ الكميةِ بالمولِ إلى الكتلةِ بالجرام.
إن وحدةَ أفوجادرو في هذه الحساباتِ هي وحداتُ الذرّاتِ في المولِ الواحد.

مسألةٌ نموذجية 1-9

ما كميةُ الفضةِ (Ag) بالمولِ في 3.01×10^{23} ذرّةِ فضة؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: عددُ الذرّات 3.01×10^{23} ذرّة فضة

المجهول: كمية Ag بالمول

2 خطّط

عددُ الذرّاتِ من الفضةِ Ag ← كمية الفضة Ag بالمول

3 احسب

يدلُّنا الشكل 1-4، على أنه يمكنُ تحويلُ عددِ الذرّاتِ إلى الكميةِ بالمول بضربِهِ في معاملِ التحويلِ المناسب.

$$\text{mol Ag} = \text{Ag ذرّة} \times \frac{\text{mol Ag}}{\text{عدد أفوجادرو من ذرّات Ag}}$$

$$3.01 \times 10^{23}\ \text{Ag ذرّة} \times \frac{\text{mol Ag}}{6.022 \times 10^{23}\ \text{Ag ذرّة}} = 0.500\ \text{mol Ag}$$

4 قيّم إن الجوابَ صحيح، لأن الوحداتِ يختصرُ بعضُها بعضًا، ولأن عددَ الذرّاتِ يساوي بالضبطِ نصفَ عددِ أفوجادرو.

تمارينُ تطبيقية

1. ما كميةُ الرصاصِ (Pb) بالمول، في 1.50×10^{12} ذرّةٍ من الرصاص؟
2. ما كميةُ القصديرِ (Sn) بالمول في 2500 ذرّةٍ من القصدير؟
3. ما عددُ ذرّاتِ الألمنيوم في 2.75 mol من الألمنيوم (Al)؟

الجواب

1. 2.49×10^{-12} mol Pb
2. 4.2×10^{-21} mol Sn
3. 1.66×10^{24} ذرّة Al

مسألةٌ نموذجية 10-1

ما الكتلةُ بالجرام لـ 1.2×10^{8} ذرّةٍ من النحاس (Cu)؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: 1.20×10^{8} ذرّة Cu

المجهول: كتلة Cu بالجرام

2 خطِّط

عددُ ذرّاتِ Cu ← كمية Cu بالمول ← كتلة Cu بالجرام

يظهرُ الشكل 1-4 أنه يجبُ استخدامُ مُعاملَيْ تحويل، أولُهما لتحويلِ عددِ الذرّاتِ المعطى إلى المول، والثاني لتحويلِ المولاتِ إلى كتلة.

$$\text{Cu ذرّة} \times \frac{\text{mol Cu}}{\text{عدد أفوجادرو من ذرّات Cu}} \times \frac{\text{g Cu}}{\text{mol Cu}} = \text{g Cu}$$

3 احسب

الكتلةُ الموليةُ للنحاسِ أُخذَتْ من الجدولِ الدوريِّ وقُرِّبَتْ إلى 63.55 g/mol.

$$1.20 \times 10^{8}\ \text{Cu ذرّة} \times \frac{\text{mol Cu}}{6.022 \times 10^{23}\ \text{Cu ذرّة}} \times \frac{63.55\ \text{g Cu}}{\text{mol Cu}} = 1.27 \times 10^{-14}\ \text{g Cu}$$

4 قيّم الوحداتُ اختُصرَتْ بطريقةٍ صحيحة.

تمارينُ تطبيقية

1. ما الكتلةُ بالجرامِ لـ 7.5×10^{15} ذرّةٍ من النيكلِ (Ni)؟
2. ما عددُ ذرّاتِ الكبريتِ (S) في 4.00 g من الكبريت؟
3. ما كتلةُ الذهبِ (Au)، بالجرام، التي تحتوي على عددِ الذرّاتِ نفسِه الموجودِ في 9.0 g من الألمنيوم Al؟

الجواب

1. 7.3×10^{-7} g Ni
2. 7.52×10^{22} ذرّة
3. 66 g Au

الكتلُ المولية

تساوي الكتلةُ الموليةُ لمادةٍ معيّنةٍ كتلةَ مولٍ واحدٍ بالجرام، أو حوالي كتلة 6.022×10^{23} جسيم. فالكتلةُ الموليةُ للكالسيوم النقي Ca، مثلاً، هي 40.08 g/mol، لأن كتلة مولٍ واحدٍ من ذراتِ الكالسيوم تساوي 40.08 g.

تُحسبُ الكتلةُ الموليةُ لأيِّ مركّبٍ بجمعِ كتلِ العناصرِ الموجودةِ في مولٍ واحدٍ من الجزيئاتِ أو وحداتِ الصيغةِ التي يتألفُ منها ذلك المركّب. فعلى سبيلِ المثال، يحتوي مولٌ واحدٌ من جزيئاتِ الماءِ على مولين من ذرّاتِ الهيدروجين ومولٍ واحدٍ من ذرّاتِ الأكسجين، وإن كتلة مولٍ واحدٍ من ذرّاتِ الهيدروجين تساوي 1.01 g (مقرّبةً إلى رقمين عشريين)، وكتلةَ مولٍ واحدٍ من ذرّاتِ الأكسجين تساوي 16.00 g، فتحسبُ الكتلةُ الموليةُ للماءِ كما يلي:

$$2\ \cancel{\text{mol H}} \times \frac{1.01\ \text{g H}}{\cancel{\text{mol H}}} = 2.02\ \text{g H}$$

$$1\ \cancel{\text{mol O}} \times \frac{16.00\ \text{g O}}{\cancel{\text{mol O}}} = 16.00\ \text{g O}$$

الكتلةُ الموليةُ للماء = 18.02 g/mol

يُظهرُ الشكل 1-5 مولاً واحدًا من الماءِ إضافةً إلى مولٍ واحدٍ من موادَّ مختلفة. لعلك لاحظْتَ أن ***الكتلة المولية لمركّبٍ معيّن تساوي عدديًا كتلة صيغتِه.*** فعلى سبيلِ المثال، وُجِدَ في المسألةِ النموذجية 1-6، أن كتلةَ صيغة $KClO_3$ تساوي 122.55 amu. لذا، ولأن الكتلةَ الموليةَ تساوي عدديًا كتلةَ الصيغة، فإن الكتلةَ الموليةَ لـ $KClO_3$ تساوي 122.55 g/mol.



الشكل 1-5 لكلِّ مركّبٍ كتلةٌ موليةٌ خاصةٌ به. يظهرُ في الشكلِ مولٌ واحدٌ لكلٍّ من: النيتروجين (في البالون)، والماء (في المخبارِ المدرج)، وكبريتيدِ الكادميوم CdS (المادةُ الصفراءُ في زجاجةِ الساعة)، وكلوريدِ الصوديوم NaCl (المادةُ البيضاءُ في زجاجةِ الساعةِ الأخرى).

مسألةٌ نموذجية 1-11

ما الكتلةُ الموليةُ لنيتراتِ الباريوم $Ba(NO_3)_2$؟

الحلّ

يحتوي مولٌ واحدٌ من نيتراتِ الباريوم على مولٍ واحدٍ من أيوناتِ Ba^{2+}، ومولين من أيوناتِ NO_3^-. ويحتوي مولانِ من أيوناتِ NO_3^- على مولين من ذرّاتِ N، وستِّ مولاتٍ من ذرّاتِ O. بناءً عليه، تحسَبُ الكتلةُ الموليةُ لـ $Ba(NO_3)_2$ كما يلي:

$$1\ \cancel{\text{mol Ba}} \times \frac{137.33\ \text{g Ba}}{\cancel{\text{mol Ba}}} = 137.33\ \text{g Ba}$$

$$2\ \cancel{\text{mol N}} \times \frac{14.01\ \text{g N}}{\cancel{\text{mol N}}} = 28.02\ \text{g N}$$

$$6\ \cancel{\text{mol O}} \times \frac{16.00\ \text{g O}}{\cancel{\text{mol O}}} = 96.00\ \text{g O}$$

الكتلةُ الموليةُ لـ $Ba(NO_3)_2$ = 261.35 g/mol

تمارينُ تطبيقية

1. ما عددُ مولاتِ كلِّ عنصرٍ في مولٍ واحدٍ من المركّباتِ التالية:

أ. Al_2S_3

ب. $Ba(OH)_2$

2. احسبِ الكتلةَ الموليةَ لكلِّ مركّبٍ في السؤال 1.

الجواب

1. أ. 2 mol Al، 3 mol S

ب. 1 mol Ba، 2 mol O، 2 mol H

2. أ. 150.17 g/mol

ب. 171.35 g/mol



الشكل 6-1 (أ) يُظهرُ الرسمُ التخطيطيُّ العلاقاتِ بين الكتلةِ بالجرامِ والكميةِ بالمولاتِ وعددِ الجزيئاتِ أو الذرّاتِ في المركّب. (ب) توجدُ علاقاتٌ مماثلةٌ للعنصرِ داخلَ المركب.

الكتلةُ الموليةُ كمُعامِلِ تحويل

يمكنُ استعمالُ الكتلةِ الموليةِ لمركّبٍ معينٍ كمعاملِ تحويل، وذلك للربطِ بين كميةِ المادةِ بالمول، وكتلتِها بالجرام. تذكّرْ أن وحداتِ الكتلةِ الموليةِ هي g/mol. ولتحويلِ كميةٍ معروفةٍ من مركّبٍ معيَّنٍ بالمولِ إلى كتلةٍ بالجرام، تضرَبُ الكميةُ بالمولِ في الكتلةِ المولية.

الكتلة (g) = الكتلة المولية (g/mol) × الكمية (mol)

في الشكل 6-1 تحويلاتٌ مختصرةٌ من هذا النوعِ لعناصرَ ومركّباتٍ مختلفة.

مسألةٌ نموذجية 12-1

ما الكتلةُ بالجرام لـ 2.50 mol من غازِ الأكسجين؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: $2.50\ mol\ O_2$

المجهول: كتلة O_2 بالجرام

2 خطِّط

O_2 مولات ← O_2 جرام

لتحويلِ كميةِ O_2 بالمولِ إلى كتلةِ O_2 بالجرام، اضربْ الكميةَ المعطاةَ بالمولِ في الكتلةِ الموليةِ للأكسجين.

كتلةُ الأكسجين O_2 (g) = الكتلة المولية لـ O_2 (g/mol) × كمية الأكسجين O_2 (mol)

3 احسب

احسبْ الكتلةَ الموليةَ لـ O_2 أولاً.

$$2\ \cancel{mol\ O} \times \frac{16.00\ g\ O}{\cancel{mol\ O}} = 32.00\ g$$ (كتلةُ مولٍ واحدٍ من الأكسجين O_2)

الكتلةُ الموليةُ لـ O_2، هي إذنْ 32.00 g/mol. أحسبِ الآنَ كما في الخطوةِ 2.

$$2.50\ \cancel{mol\ O_2} \times \frac{32.00\ g\ O_2}{\cancel{mol\ O_2}} = 80.0\ g\ O_2$$

4 قيّم بعدَ مراجعةِ خطواتِ الحلِّ تبيّنَ أن العمليةَ الحسابيةَ صحيحة، وتمَّ الاختصارُ بشكلٍ صحيح، وقُرِّبَ الجوابُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

لتحويلِ كتلةِ مركّبٍ معروفةٍ بالجرامِ إلى كميةٍ بالمول، تُقسمُ الكتلةُ على الكتلةِ المولية.
أو يتمُّ الضربُ في مقلوبِ الكتلةِ الموليةِ بحيث تُختصرُ الوحداتُ بسهولة.

$$\text{الكمية (mol)} = \frac{1}{\text{الكتلة المولية (g/mol)}} \times \text{الكتلة (g)}$$

مسألةٌ نموذجية 13-1

الإيبوبروفين $C_{13}H_{18}O_2$ هو المادةُ الفعّالةُ في معظمِ أدويةِ تخفيفِ الألمِ التي لا تحتاجُ إلى وصفةٍ طبية، وكتلتُهُ المولية 206.29 g/mol.

أ. إذا احتوتْ أقراصُ الدواءِ في علبةٍ بلاستيكيةٍ على ما مجموعُهُ 33 g من الإيبوبروفين، فكم مولاً من الإيبوبروفين يكونُ في العلبة؟

ب. ما عددُ جزيئاتِ الإيبوبروفين في العلبة؟

ج. ما كتلةُ الكربون الكليةُ بالجرامِ في 33 g من الإيبوبروفين.

الحلّ

1 حلّل

المعطى: 33 g، $C_{13}H_{18}O_2$، الكتلةُ المولية 206.29 g/mol

المجهول: أ. مولات $C_{13}H_{18}O_2$

ب. جزيئات $C_{13}H_{18}O_2$

ج. الكتلةُ الكليةُ للكربون

2 خطّط

أ. جرامات ← مولات

لتحويلِ كتلةِ الإيبوبروفين بالجرامِ إلى كميةٍ بالمول، اضربْ في معاملِ التحويلِ (مقلوبِ الكتلةِ المولية).

$$g\ C_{13}H_{18}O_2 \times \frac{mol\ C_{13}H_{18}O_2}{206.29\ g\ C_{13}H_{18}O_2} = mol\ C_{13}H_{18}O_2$$

ب. مولات ← جزيئات

لإيجادِ عددِ جزيئاتِ الإيبوبروفين، اضربْ كميةَ الـ $C_{13}H_{18}O_2$ بالمولِ في معاملِ التحويلِ المناسبِ (بعدد أفوجادرو).

$$mol\ C_{13}H_{18}O_2 \times \frac{6.022 \times 10^{23}\ \text{جزيء}}{mol} = \text{جزيء}\ C_{13}H_{18}O_2$$

ج. عددُ مولات $C_{13}H_{18}O_2$ ← عدد مولاتِ الكربون C ← كتلة الكربون (g)

لإيجادِ كتلةِ الكربونِ الموجودةِ في الإيبوبروفين، نحتاجُ إلى معاملَيّ تحويلٍ هما كميةُ الكربونِ بالمولِ في كلِّ مولٍ من الإيبوبروفين $C_{13}H_{18}O_2$، والكتلةُ الموليةُ للكربون.

$$mol\ C_{13}H_{18}O_2 \times \frac{13\ mol\ C}{mol\ C_{13}H_{18}O_2} \times \frac{12.01\ g\ C}{mol\ C} = g\ C$$

3 **احسب**

أ. $33\ g\ C_{13}H_{18}O_2 \times \frac{1\ mol\ C_{13}H_{18}O_2}{206.29\ g\ C_{13}H_{18}O_2} = 0.16\ mol\ C_{13}H_{18}O_2$

ب. $0.16\ mol\ C_{13}H_{18}O_2 \times \frac{6.022 \times 10^{23}\ \text{جزيء}}{mol} = 9.6 \times 10^{22}\ \text{جزيء}\ C_{13}H_{18}O_2$

ج. $0.16\ mol\ C_{13}H_{18}O_2 \times \frac{13\ mol\ C}{mol\ C_{13}H_{18}O_2} \times \frac{12.01\ g\ C}{mol\ C} = 25\ g\ C$

4 **قيّم**

بعدَ مراجعةِ كلِّ خطوةٍ من الحلِّ يتبيّنُ أن العمليةَ الحسابيةَ صحيحة، وقد استُعمِلَتِ الأرقامُ المعنويةُ الصحيحة، واختُصِرَتِ الوحداتُ كما هو مطلوب.

تمارينُ تطبيقية

1. ما عددُ المولاتِ في 6.60 g من $(NH_4)_2SO_4$؟

2. ما عددُ الجزيئاتِ في 25.0 g من H_2SO_4؟

3. ما الكتلةُ بالجرامِ لـ 6.25 mol من نيتراتِ النحاس (II)؟

الجواب

1. 0.0499 mol

2. 1.54×10^{23} جزيء

3. 1170 g

النسبةُ المئويةُ للتركيب

من المفيد عادةً معرفةُ النسبةِ المئويةِ لكتلةِ عنصرٍ معيّنٍ في مركّبٍ كيميائي. فإذا أردنا استعمالَ المركّبِ كلورات البوتاسيوم $KClO_3$، على سبيلِ المثال، كمصدرٍ للأكسجين، سيكونُ من المهمِّ معرفةُ النسبةِ المئويةِ للأكسجين في هذ المركّب. يتمُّ ذلك بقسمةِ كتلةِ العنصرِ في عينةِ المركّبِ على الكتلةِ الكليةِ للعيّنة، ثمَّ تُضربُ هذه القيمةُ بـ 100.

$$\text{النسبةُ المئويةُ للعنصرِ في المركّب} = \frac{\text{كتلة العنصر في عيّنة من المركّب}}{\text{كتلة عيّنة المركّب}} \times 100$$

إن النسبةَ المئويةَ لكتلةِ أيِّ عنصرٍ في المركّبِ تبقى هي نفسَها مهما اختلفَتْ كتلةُ العيّنة. لذلك، يُعمَدُ إلى طريقةٍ سهلةٍ في حسابِ هذه النسبة، وذلك بتحديدِ عددِ جراماتِ العنصرِ الموجودةِ في مولٍ واحدٍ من المركّب، ثم بتقسيمِ هذه القيمةِ على الكتلةِ الموليةِ للمركّبِ وضربِها في 100.

$$\text{النسبةُ المئويةُ للعنصرِ في المركّب} = \frac{\text{كتلة العنصر في مول واحد من المركّب}}{\text{الكتلة المولية للمركّب}} \times 100$$

النسبةُ المئويةُ الكتليةُ لجميعِ عناصرِ المركّبِ تُسمّى النسبة المئوية للتركيب **percentage composition**.

مسألةٌ نموذجية 14-1

جدِ النسبةَ المئويةَ للتركيبِ لكبريتيدِ النحاس (I)، Cu_2S.

الحلّ

1 حلّل

المعطى: الصيغة Cu_2S. ومن الجدولِ الدوريِّ الكتلةُ الذرّيةُ لكلٍّ من الكبريتِ والنحاس.

المجهول: النسبةُ المئويةُ لتركيبِ الـ Cu_2S

2 خطّط

الصيغة ← الكتلة المولية ← النسبة المئوية الكتلية للعنصر في المركّب

يلزمُ أولاً إيجادُ الكتلةِ الموليةِ للمركّب. ثم تُستعملُ كتلةُ كلِّ عنصرٍ موجودٍ في مولٍ واحدٍ من المركّبِ لحسابِ النسبةِ المئويةِ لكتلةِ هذا العنصرِ في المركّب.

3 احسب

$$2\ \text{mol Cu} \times \frac{63.55\ \text{g Cu}}{\text{mol Cu}} = 127.1\ \text{g Cu}$$

$$1\ \text{mol S} \times \frac{32.07\ \text{g S}}{\text{mol S}} = 32.07\ \text{g S}$$

الكتلة المولية لـ Cu_2S $= 159.2\ \text{g}$

$$\frac{127.1\ \text{g Cu}}{159.2\ \text{g } Cu_2S} \times 100 = 79.84\%\ \text{Cu}$$

$$\frac{32.07\ \text{g S}}{159.2\ \text{g } Cu_2S} \times 100 = 20.14\%\ \text{S}$$

4 قيِّم

يكونُ التحققُ صحيحًا إذا ثبتَ لدينا أن المجموعَ يقارب 100%. (بسببِ التقريب، قد لا يكونُ المجموع 100% كاملاً.)

مسألةٌ نموذجية 15-1

عندما تتبلورُ بعضُ الأملاحِ في محلولٍ مائي، ترتبطُ جزيئاتُ الماءِ بتركيبتِها البلورية مكوِّنةً هيدراتًا. فكربوناتُ الصوديوم تشكلُ هيدراتًا لأنها تحتوي على عشرةِ جزيئاتٍ من الماءِ لكلِّ وحدةِ صيغةٍ من كربوناتِ الصوديوم. احسبِ النسبةَ المئويةَ لكتلةِ الماءِ في كربوناتِ الصوديومِ المائية $Na_2CO_3{\cdot}10H_2O$، ذي الكتلةِ الموليةِ 286.14 g/mol.

الحلّ

1 حلّل

المعطى: الصيغةُ الكيميائية $Na_2CO_3{\cdot}10H_2O$، والكتلُ الذرّيةُ تؤخذُ من الجدولِ الدوري.

الكتلة المولية لـ $Na_2CO_3{\cdot}10H_2O$

المجهول: النسبةُ المئويةُ الكتليةُ للماء

2 خطّط

الصيغةُ الكيميائية ← كتلة الماءِ في مولٍ من $Na_2CO_3{\cdot}10H_2O$ ← النسبة المئوية للماء

تَحسُبُ أولاً كتلةَ الماءِ في مولٍ من كربوناتِ الصوديومِ المائية. بعدها تَقسِمُ هذه القيمةَ على كتلةِ مولٍ واحدٍ من $Na_2CO_3{\cdot}10H_2O$.

3 احسب يحتوي مولٌ واحدٌ من $Na_2CO_3•10H_2O$ على عشرةِ مولاتٍ من الماء. وبما أن الكتلةَ المولية للماء H_2O تساوي 18.02 g/mol، فإن حسابَ كتلةِ 10 mol يتمُّ كما يلي:

$$10 \text{ mol } H_2O \times \frac{18.02 \text{ g } H_2O}{\text{mol } H_2O} = 180.2 \text{ g } H_2O$$

وتكونُ كتلةُ الـ H_2O في مول من $Na_2CO_3•10H_2O$ مساوية لـ 180.2 g

الكتلةُ الموليةُ لـ $Na_2CO_3•10H_2O$ هي 286.14 g/mol، وبما أن مولاً واحدًا من كربوناتِ الصوديوم المائيةِ له كتلةٌ تساوي 286.14 g، فإن حسابَ النسبةِ المئويةِ لكتلةِ 10 mol من H_2O في مولٍ واحدٍ $Na_2CO_3•10H_2O$ يمكنُ أن يتمَّ هكذا:

$$\text{النسبة المئوية الكتلية لـ } H_2O \text{ في } Na_2CO_3•10H_2O = \frac{180.2 \text{ g } H_2O}{286.14 \text{ g } Na_2CO_3•10H_2O} \times 100 = 62.98\% \; H_2O$$

4 قيّم يُظهرُ التحققُ أن العمليةَ الحسابيةَ صحيحة، وأن الوحداتِ اختُصرت كما هو مطلوب.

تمارينُ تطبيقية

1. احسبِ النسبةَ المئويةَ للتركيبِ لـ $PbCl_2$.
2. احسبِ النسبةَ المئويةَ لكتلةِ الماءِ في $ZnSO_4•7H_2O$.
3. يحتوي هيدروكسيد المغنيسيوم على 54.87% من الأكسجين. كم جرامًا من الأكسجين في 175 g من المركّب؟ ما عددُ مولاتِ الأكسجين الموجودةِ في هذا المركّب؟

الجواب
1. 74.51% Pb، 25.49% Cl
2. 43.86% H_2O
3. 96.0 g O، 6.00 mol O

مراجعةُ القسم 3-1

1. عرِّفْ ما يلي:
   أ. المول
   ب. عددَ أفوجادرو
   ج. الكتلةَ المولية
2. حدِّدِ الكتلةَ بالجرامِ في:
   أ. 2.00 mol من N
   ب. 3.01×10^{23} ذرّة Cl
3. حدِّدِ الكميةَ بالمولِ في:
   أ. 12.15 g من Mg
   ب. 1.50×10^{23} ذرّة F
4. ما عددُ الذرّاتِ في:
   أ. 2.50 mol من Zn
   ب. 1.50 g من C
5. احسبْ كتلةَ الصيغةِ والكتلةَ الموليةَ لكربوناتِ الأمونيوم $(NH_4)_2CO_3$.
6. كم مولاً من ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ في مولٍ واحدٍ من $(NH_4)_2CO_3$؟
7. ما الكتلةُ بالجرامِ لـ 3.25 mol من $Fe_2(SO_4)_3$؟
8. كم جزيءَ أسبيرين $C_9H_8O_4$ في قرصِ أسبيرين كتلتُهُ 100.0 mg؟

القســـم 4-1

مؤشراتُ الأداء

- يعرّفُ الصيغةَ الأوليةَ ويُفسِّرُ كيفَ تطبَّقُ على المركّباتِ الأيونيةِ والجزيئية.
- يُحدِّدُ الصيغةَ الأوليةَ إما انطلاقًا من النسبةِ المئويةِ للتركيبِ أو من معرفةِ الكتلِ.
- يُفسِّرُ العلاقةَ بين الصيغةِ الأوليةِ والصيغةِ الجزيئيةِ لمركّبٍ معيّن.
- يحدِّدُ الصيغةَ الجزيئيةَ انطلاقًا من الصيغةِ الأولية.

تعيينُ الصِّيَغِ الكيميائية

عند تركيبِ مادةٍ جديدةٍ أو اكتشافِها، يتمُّ تحليلُها كمّيًّا لإظهارِ النسبةِ المئويةِ للتركيب. ومن هذه النسبةِ يتمُّ تحديدُ الصيغةِ الأولية. ***تتألفُ الصيغةُ الأوليةُ*** **empirical formula** ***من رموزِ العناصرِ المكوّنةِ لمركّبٍ معيَّن، مع أرقامٍ سفليةٍ تُظهرُ أبسطَ النسبِ الموليةِ القائمةِ بين أعدادِ ذرّاتِ هذه العناصر.*** أما بالنسبةِ للمركّبِ الأيوني، فوحدةُ الصيغةِ هي عادةً الصيغةُ الأوليةُ للمركّب، في حينِ أن الصيغةَ الأوليةَ للمركّبِ الجزيئيِّ لا تشيرُ إلى الأعدادِ الفعليةِ للذرّاتِ الموجودةِ في كلِّ جزيء. مثلاً، الصيغةُ الأوليةُ لغازِ ثنائيِّ البورانِ diborane هي BH_3، بينما صيغتُهُ الجزيئيةُ هي B_2H_6. في هذه الحالة، يكونُ عددُ الذرّاتِ في الصيغةِ الجزيئيةِ ضعفَيْ عددِها في الصيغةِ الأولية.

حسابُ الصِّيَغِ الأولية

لتحديدِ الصيغةِ الأوليةِ لمركّبٍ من خلالِ النسبةِ المئويةِ للتركيبِ تُتبَعُ الخطواتُ التالية:

1. افترضْ أن لديك 100 g من المركّب، حدِّدْ كتلةَ كلِّ عنصرٍ في المركّبِ مبدلاً عددَ الجراماتِ (g) بالإشارة %.
2. حوِّلْ الكتلَ إلى عددِ مولات، وذلك بضربِها في معامِلِ التحويلِ المناسبِ (أو القسمةِ على الكتلةِ الموليةِ المناسبة).
3. اقسمْ أعدادَ المولاتِ التي حصلتَ عليها من الخطوة 2 على أقلِّ قيمةٍ لعددِ المولاتِ في عناصرِ هذا المركّب. بذلك تحصلُ على أبسطِ نسبةٍ لأعدادِ مولاتِ ذرّاتِ العناصرِ في المركّبِ (الصيغةِ الأولية).

ولتوضيحِ هذه الخطوات، لديكَ المثالُ التالي: تكونُ النسبةُ المئويةُ لتركيبِ ثنائيِّ البوران، 78.1% B و 21.9% H. لذلك فإن 100.0 g من ثنائيِّ البورانِ تحتوي على 78.1 g B و 21.9 g H.

في الخطوةِ التالية، يُحوَّلُ التركيبُ الكتليُّ لكلِّ عنصرٍ إلى تركيبٍ موليٍّ بالقسمةِ على الكتلةِ الموليةِ المناسبة.

$$79.1\ \cancel{g\ B} \times \frac{1\ mol\ B}{10.81\ \cancel{g\ B}} = 7.22\ mol\ B$$

$$21.9\ \cancel{g\ H} \times \frac{1\ mol\ H}{1.01\ \cancel{g\ H}} = 21.7\ mol\ H$$

تعطي هذه القيمُ نسبةً موليةً مقدارُها 7.22 mol B إلى 21.7 mol H. لكن هذه النسبةَ لا تمثِّلُ أصغرَ أعدادٍ صحيحة. لإيجادِ النسبةِ المطلوبةِ اقسمْ كلَّ عددٍ من المولاتِ على أصغرِ عددٍ في النسبةِ الموجودة.

$$\frac{7.22 \text{ mol B}}{7.22} : \frac{21 \text{ mol H}}{7.22} = 1 \text{ mol B}:3.01 \text{ mol H}$$

وبسببِ عمليةِ التقريبِ أو الخطأِ التجريبي، تصبحُ نسبةُ المولِ في المركّبِ أحيانًا مكوّنةً من أعدادٍ صحيحةٍ أو من كسورٍ قريبةٍ جدًّا من العددِ الصحيح. في هذه الحالةِ، تُقرّبُ الكسورُ إلى أقربِ عددٍ صحيح. وبذلك يكونُ ثنائيُّ البورانِ محتويًا على ذرّاتٍ بنسبة 1B:3H. وتصبحُ الصيغةُ الأوليةُ للمركّبِ BH_3.

يُعطى، في بعضِ الأحيانِ، التركيبُ الكتليُّ بدلَ النسبةِ المئويةِ للتركيب. ولتحديدِ الصيغةِ الأوليةِ في هذه الحالة، يجبُ تحويلُ التركيبِ الكتليِّ إلى تركيبٍ مولي، وتُحسَبُ بعدئذٍ قيمةُ أصغرِ أعدادٍ صحيحةٍ لنسبةِ مولاتِ الذرّات. تتوضّحُ هذه الطريقةُ في المسألةِ النموذجية 1-17.

مسألةٌ نموذجية 1-16

يُظهرُ التحليلُ الكمّيُّ أنّ مركّبًا يحتوي على 32.38% من الصوديوم، و 22.65% من الكبريت، و 44.99% من الأكسجين. فما الصيغةُ الأوليةُ لهذا المركّب؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: النسبةُ المئويةُ للتركيب: 32.38% Na، 22.65% S، 44.99% O، الكتلُ الذرّيةُ من الجدولِ الدوري.

المجهول: الصيغةُ الأولية

2 خطّط

النسبةُ المئويةُ للتركيب ← التركيبُ الكتلي ← التركيبُ بالمولات ← أصغر أعدادٍ صحيحةٍ لنسبةِ مولاتِ الذرّات

3 احسب

التركيبُ الكتلي (كتلةُ كلِّ عنصرٍ في عيّنةٍ من 100.0 g): 32.38 g Na، 22.65 g S، 44.99 g O.

التركيبُ بالمولات:

$$32.38 \text{ g Na} \times \frac{1 \text{ mol Na}}{22.99 \text{ g Na}} = 1.408 \text{ mol Na}$$

$$22.65 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S}}{32.07 \text{ g S}} = 0.7063 \text{ mol S}$$

$$44.99 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16.00 \text{ g O}} = 2.812 \text{ mol O}$$

أصغرُ أعدادٍ صحيحةٍ لنسبةِ مولاتِ الذرّات:

يحتوي المركّبُ ذرّاتٍ بنسبة 1.408 mol Na:0.7063 mol S:2.812 mol O. لنحصلَ على أصغرِ أعدادٍ صحيحةٍ لنسبةِ المولات، اقسمْ كلَّ قيمةٍ على العددِ الأصغرِ في النسبة.

$$\frac{1.408 \text{ mol Na}}{0.7063} : \frac{0.7063 \text{ mol S}}{0.7063} : \frac{2.812 \text{ mol O}}{0.7063} = 1.993 \text{ mol Na}:1 \text{ mol S}:3.981 \text{ mol O}$$

وبتقريبِ كلِّ عددٍ في النسبةِ إلى أقربِ عددٍ صحيح، نحصلُ على نسبةِ مول 2 mol Na:1 mol S:4 mol O. فالصيغةُ الأوليةُ للمركّبِ هي إذنْ Na_2SO_4.

4 قيّم

يُظهرُ حسابُ النسبةِ المئويةِ للتركيبِ المبنيِّ على الصيغةِ الأوليةِ نسبًا مئويةً قيَمُها 32.37% Na، و 22.58% S، و 45.05% O. تتطابقُ هذه القيمُ إلى حدٍّ معقولٍ مع النسبةِ المئويةِ للتركيبِ المعطاةِ في المسألة.

مسألةٌ نموذجية 1-17

أظهرَ تحليلُ عيّنةٍ من مركّب كتلتُها 10.150 g، وتحتوي على فوسفورٍ وأكسجينٍ فقط، أن فيها 4.433 g من الفوسفور. فما الصيغةُ الأوليةُ لهذا المركّب؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: كتلةُ العيّنة = 10.150 g

كتلةُ الفوسفور = 4.433 g، الكتلُ الذرّيةُ للأكسجين والفوسفور من الجدول الدوري.

المجهول: الصيغةُ الأولية

2 خطّط

التركيبُ الكتلي ← التركيبُ بالمولات ← أصغر عددٍ صحيحٍ لنسبةِ مولاتِ الذرّات

3 احسب

تُحسبُ كتلةُ الأكسجينِ بطرحِ كتلةِ الفوسفورِ من كتلةِ العيّنة.

$$10.150\ g - 4.433\ g = 5.717\ g$$

التركيبُ الكتلي: 5.717 g O، 4.433 g P

التركيبُ بالمولات:

$$4.433\ \cancel{g\ P} \times \frac{1\ mol\ P}{30.97\ \cancel{g\ P}} = 0.1431\ mol\ P$$

$$5.717\ \cancel{g\ O} \times \frac{1\ mol\ O}{16.00\ \cancel{g\ O}} = 0.3573\ mol\ O$$

أصغرُ عددٍ صحيحٍ لنسبةِ المولات:

$$\frac{0.1431\ mol\ P}{0.1431} : \frac{0.3573\ mol\ O}{0.1431} = 1\ mol\ P:2.497\ mol\ O$$

عددُ مولاتِ الأكسجينِ ليس صحيحًا. لكن إذا ضَربْنا كلَّ عددٍ في النسبةِ بـ 2، يصبحُ عددُ مولاتِ الأكسجين 4.994 mol، وهو قريبٌ من 5 mol. وبذلك تصبحُ نسبةُ ذرّاتِ الفوسفورِ إلى ذرّاتِ الأكسجين 5:2. وتصبحُ الصيغةُ الأوليةُ للمركّبِ P_2O_5.

4 قيّم

العملياتُ الحسابيةُ صحيحة، واستعمالُ الأرقامِ المعنويةِ تمَّ بطريقةٍ صحيحة، واختُصرَتِ الوحداتُ كما هو مطلوب. والصيغةُ التي حصلْنا عليها، أي P_2O_5، هي صيغةٌ معقولةٌ لأنها تؤدي إلى عددِ أكسدةٍ للفوسفورِ يساوي +5، وهذه هي حالةُ الأكسدةِ الشائعةِ للفوسفور.

تمارينُ تطبيقية

1. ما الصيغةُ الأوليةُ لمركّبٍ يحتوي على 26.56% بوتاسيوم، و 35.41% كروم، والباقي أكسجين؟

2. أظهرَ تحليلُ 20.0 g من مركّبٍ مكوّنٍ فقط من كالسيوم وبروم، أنه يحتوي على 4.00 g كالسيوم. ما الصيغةُ الأوليةُ للمركّب؟

الجواب

1. $K_2Cr_2O_7$
2. $CaBr_2$

حسابُ الصيغِ الجزيئيةِ انطلاقًا من الصيغةِ الأوليةِ

تذكّرْ أن الصيغةَ الأوليةَ تحتوي على أبسطِ نسبةٍ من الذرّات، وأن الصيغة الجزيئية هي الصيغةُ الفعليةُ للمركّبِ الجزيئي. وقد تكونُ الصيغةُ الأوليةُ صيغةً جزيئيةً صحيحةً وقد لا تكون. مثلاً، الصيغةُ الأوليةُ لثنائيِّ البوران هي BH_3. وإن أيَّ تضاعفٍ لـ BH_3، مثل B_2H_6، B_3H_9، B_4H_{12}، إلخ...، يمثلُ النسبةَ نفسَها لذرّاتِ B إلى ذرّاتِ H. والمركّبان الجزيئيان الإيثين ethene C_2H_4 والبروبان الحلقي cyclopropane C_3H_6، يشتركان بنسبةٍ متماثلةٍ بين ذرّاتِ الهيدروجين والكربون (2H:1C)، علمًا بأنهما مادتان مختلفتان كليًّا. فكيف يمكنُ إيجادُ الصيغةِ الصحيحةِ لمركّبٍ جزيئيٍّ انطلاقًا من الصيغةِ الأولية؟

يمكنُ كتابةُ العلاقةِ بين الصيغةِ الأوليةِ لمركّبٍ وبين صيغتِهِ الجزيئيةِ كما يلي:

الصيغةُ الجزيئية = (الصيغة الأولية)n

الرمزُ n هو رقمٌ صحيحٌ يمثلُ عددَ المراتِ التي تُضاعفُ بها الأرقامُ السفليةُ في الصيغةِ الأوليةِ للحصولِ على الصيغةِ الجزيئية (قيمةُ n تساوي أحيانًا 1). والصيغُ الكتليةُ لها العلاقةُ نفسها.

كتلةُ الصيغةِ الجزيئية = (كتلة الصيغة الأولية)n

لتحديدِ الصيغةِ الجزيئيةِ لمركّبٍ يجبُ أن تُعرَفَ كتلةُ صيغةِ المركّب. على سبيلِ المثال، لقد دلّتِ القياساتُ التجريبيةُ على أن كتلةَ صيغةِ ثنائيِّ البوران هي 27.67 amu. وكتلةَ الصيغةِ الأوليةِ لـ BH_3 تساوي 13.84 amu. إن قسمةَ كتلةِ الصيغةِ المقيسةِ على كتلةِ الصيغةِ الأوليةِ تعطي قيمةَ n لثنائيِّ البوران.

$$n = \frac{27.67 \text{ amu}}{13.84 \text{ amu}} = 2.000$$

لذلك تكونُ الصيغةُ الجزيئيةُ لثنائيِّ البوران B_2H_6.

$$(BH_3)_2 = B_2H_6$$

تذكّرْ أن كتلةَ الصيغةِ الجزيئيةِ للمركّبِ تساوي عدديًّا كتلتَهُ المولية. لذلك، فالصيغةُ الجزيئيةُ لمركّبٍ معيّنٍ يمكنُ تحديدُها أيضًا من خلالِ صيغةِ المركّبِ الأوليةِ وكتلتِهِ المولية.

مسألةٌ نموذجية 18-1

في المسألةِ النموذجية 17-1، كانت الصيغةُ الأوليةُ لمركّبٍ مكوّنٍ من الفوسفورِ والأكسجين P_2O_5. أظهرتِ التجاربُ العمليةُ أن الكتلةَ الموليةَ لهذا المركّبِ هي 283.89 g/mol. فما الصيغةُ الجزيئيةُ للمركّب؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: الصيغةُ الأولية

المجهول: الصيغةُ الجزيئية

2 خطّط

$$\text{الصيغةُ الجزيئية} = n(\text{الصيغة الأولية})$$

$$n = \frac{\text{كتلة الصيغة الجزيئية}}{\text{كتلة الصيغة الأولية}}$$

3 احسب

كتلةُ الصيغةِ الجزيئيةِ تساوي عدديًّا الكتلةَ المولية. لذا، بتغييرِ وحدة g/mol للكتلةِ الموليةِ إلى amu نحصلُ على كتلةِ الصيغةِ الجزيئيةِ للمركّب.

الكتلة المولية الجزيئية = 283.89 g/mol

كتلة الصيغة الجزيئية = 283.89 amu

ونحصلُ على كتلةِ الصيغةِ الأوليةِ بجمعِ كتلِ جميعِ الذرّاتِ المشارِ إليها في الصيغةِ الأولية.

كتلة ذرّة فوسفور = 30.97 amu

كتلة ذرّة أكسجين = 16.00 amu

كتلة الصيغة الأولية لـ P_2O_5 = 2 × 30.97 amu + 5 × 16.00 amu = 141.94 amu

عندما نقسِمُ كتلةَ الصيغةِ الناتجةَ عن التجربةِ على كتلةِ الصيغةِ الأوليةِ نحصلُ على قيمةِ *n*. كتلةُ الصيغةِ تساوي عدديًّا الكتلةَ المولية.

$$n = \frac{283.89\ \text{amu}}{141.94\ \text{amu}} = 2.0001$$

فتكونُ الصيغةُ الجزيئيةُ للمركّبِ P_4O_{10}.

$$2 \times (P_2O_5) = P_4O_{10}$$

4 قيّم

عند تدقيقِ العملياتِ الحسابيةِ يظهرُ أنها صحيحة.

تمارينُ تطبيقية

1. حدِّدِ الصيغةَ الجزيئيةَ لمركّبٍ صيغتُهُ الأوليةُ CH وله كتلةُ صيغةٍ 78.110 amu.
2. تتألفُ عيّنةُ مركّبٍ ذاتُ كتلةِ صيغةٍ 34.00 amu، من 0.44 g من H و 6.92 g من O. فما صيغتُهُ الجزيئية؟

الجواب

1. C_6H_6
2. H_2O_2

مراجعةُ القسم 4-1

1. ما الصيغةُ الأوليةُ لمركّبٍ يحتوي على 53.70% من Fe، و 46.30% من S؟
2. أظهرَ التحليلُ لمركّبٍ أنه يحتوي على 1.04 g من K، و 0.70 g من Cr، و 0.86 g من O. فما صيغتُهُ الأولية؟
3. إذا اتحدَ 4.04 g من النيتروجين N مع 11.46 g من الأكسجين O ينتجُ مركّبٌ كتلةُ صيغتِه 108.0 amu، فما الصيغةُ الجزيئيةُ لهذا المركّب؟
4. الكتلةُ الموليةُ لمركّبٍ 92 g/mol. وعند تحليلِ عيّنةٍ من هذا المركّبِ تبيّن أنه يحتوي على 0.606 g نيتروجين و 1.390 g أكسجين. فما الصيغةُ الجزيئيةُ لهذا المركّب؟

مراجعةُ الفصل 1

ملخّصُ الفصل

1-1

- يُحدَّدُ اسمُ الأيونِ الموجبِ أحاديِّ الذرّةِ ببساطةٍ من خلال اسم العنصرِ المناسب. ويسمّى الأيونُ السالبُ أحاديُّ الذرّةِ بحذفِ أجزاءٍ من نهايةِ اسم العنصرِ وإضافةِ المقطعِ –يد إلى الجذر.
- يمكنُ استعمالُ شحنةِ كلِّ أيونٍ في المركّبِ الأيونيِّ لتحديدِ الصيغةِ الكيميائيةِ الأبسطِ للمركّب.
- تُعرفُ المركّباتُ التي تتألفُ من عنصرين مختلفينِ باسمِ المركّباتِ الثنائية.
- تسمّى المركّباتُ الأيونيةُ الثنائيةُ بجمعِ أسماءِ الأيوناتِ الموجبةِ والسالبة. وتُسمّى المركّباتُ التي تحتوي على أيوناتٍ متعددةِ الذرّاتِ بالطريقةِ نفسِها.
- يَستعملُ النظامُ القديمُ لتسميةِ المركّباتِ الثنائيةِ الجزيئيةِ نظامَ البادئات. ويَستعملُ النظامُ الجديد، المعروفُ باسمِ نظامِ ستوك، أعدادَ الأكسدة.

المفردات

أيوناتٌ أحاديةُ الذرّة monatomic ions (8)
التسمية nomenclature (10)
الملح salt (19)
أنيوناتٌ مؤكسجة oxyanions (13)
المركّباتُ الثنائية binary compounds (10)

2-1

- تُعيَّنُ أعدادُ أكسدةِ الذرّات، في المركّباتِ بناءً على مجموعةٍ محددةٍ من القواعد. تُستعمَلُ أعدادُ الأكسدةِ في تسميةِ المركّبات، وفي كتابةِ الصيغ وموازنةِ المعادلاتِ الكيميائية.
- تحدَّدُ أسماءُ المركّباتِ التي تحتوي على عناصرَ لها أكثرُ من حالةِ أكسدةٍ باستخدامِ نظامِ ستوك للتسمية.
- تُستعمَلُ أسماءُ نظامِ ستوك وأسماءُ نظامِ البادئاتِ بعضُها مكانَ بعض في معظمِ المركّباتِ الجزيئية.
- يمكنُ استعمالُ أعدادِ الأكسدةِ لكلِّ عنصرٍ في المركّبِ في معظمِ المركّباتِ الجزيئيةِ لتحديدِ أبسطِ صيغةٍ كيميائيةٍ للمركّب.
- عندَ معرفةِ أعدادِ الأكسدة، يمكنُنا تسميةُ المركّباتِ دون معرفةِ ما إذا كانت هذه المركّباتُ أيونيةً أو جزيئية.

المفردات

أعدادُ الأكسدة oxidation numbers (20)
حالاتُ الأكسدة oxidation states (20)

3-1

- يمكنُ حسابُ كتلةِ الصيغة، والكتلةِ المولية، والنسبةِ المئويةِ للتركيبِ من الصيغةِ الكيميائيةِ للمركّب.
- النسبةُ المئويةُ للتركيبِ تمثلُ نسبةَ كتلةِ كلِّ عنصرٍ في المركّب.
- عددُ أفوجادرو هو تقريبًا 6.022×10^{23}، وهو يساوي تمامًا عددَ الذرّاتِ الموجودةِ في 12 g من الكربون –12. وأيُّ عيّنةٍ تحتوي على عددِ جسيماتٍ يساوي عددَ أفوجادرو هي بمثابةِ مولٍ واحدٍ من هذه الجسيمات.
- الكتلةُ الموليةُ لأيِّ عنصرٍ هي الكتلةُ في مولٍ واحدٍ من ذرّاتِ هذا العنصر.
- يمكنُ استعمالُ الكتلةِ الموليةِ كمعاملِ تحويلٍ بين الكميةِ بالمولِ والكتلةِ بالجرامِ لمركّبٍ أو عنصر.

المفردات

عددُ أفوجادرو Avogadro's number (27)
الكتلةُ المولية molar mass (27)
النسبةُ المئويةُ للتركيب
كتلةُ الصيغة formula mass (25)
المول mole (26)
percentage composition (34)

4-1

- تُظهرُ الصيغةُ الأوليةُ أبسطَ نسبةٍ عدديةٍ للذرّاتِ في مركّبٍ معيّن.
- يحتوي كلُّ جزيءٍ في مركّبٍ جزيئيٍّ على عددٍ صحيحٍ يمثلُ عددَ المرّاتِ التي تضاعفتْ فيها الذرّاتُ في الصيغةِ الأولية. في بعضِ الحالاتِ يمكنُ لهذا العددِ أن يكون 1.
- تبيِّنُ الصيغُ الأوليةُ عددَ ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ متحدٍ في أبسطِ وحدةٍ من المركّبِ الكيميائي.
- يمكنُ الحصولُ على الصيغةِ الجزيئيةِ من الصيغةِ الأوليةِ عند قياسِ الكتلةِ المولية.

المفردات

الصيغةُ الأولية empirical formula (37)

مراجعةُ المفاهيم

1. أ. وضح المقصودَ بالأيوناتِ أحاديةِ الذرّة.
ب. أعطِ ثلاثةَ أمثلةٍ على أيوناتٍ أحاديةِ الذرّة.

2. ما الفرقُ بين أيونِ النيتراتِ وأيونِ النيتريت؟

3. وظِّفِ الجدولَ الدوريَّ واكتبْ رمزَ الأيونِ الأكثرِ تكوّنًا في كلٍّ من العناصرِ التالية:
أ. K
ب. Ca
ج. S
د. Cl

4. اكتبِ الصيغَ وأشرْ إلى الشحناتِ في كلٍّ من الأيوناتِ التالية:
أ. أيونِ الصوديوم
ب. أيونِ الألمنيوم
ج. أيونِ الكلوريد
د. أيونِ النيتريد
هـ. أيونِ الحديد (III)

5. سمِّ كلاً من الأيوناتِ أحاديةِ الذرّةِ التالية:
أ. K^+
ب. Mg^{2+}
ج. Al^{3+}
د. Cl^-
هـ. O^{2-}

6. اكتبْ صيغةَ المركّب الأيوني الثنائي المتكوّنة بين كلٍّ من أزواجِ العناصرِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-1):
أ. صوديوم ويود
ب. كالسيوم وكبريت
ج. خارصين وكلور
د. باريوم وفلور
هـ. ليثيوم وأكسجين

7. سمِّ كلاً من المركّباتِ الأيونيةِ الثنائيةِ التالية (انظرِ المسألة النموذجية 1-2):
أ. KCl
ب. $CaBr_2$
ج. Li_2O

8. اكتبِ الصيغَ، وأعطِ أسماءَ المركّباتِ التي تتكوّنُ من أزواجِ الأيوناتِ التالية:
أ. Cr^{2+} و F^-
ب. Ni^{2+} و O^{2-}
ج. Fe^{3+} و O^{2-}

9. ما الخاصةُ التي تحدِّدُ ترتيبَ كتابةِ العناصرِ المشاركة، لدى تسميةِ وكتابةِ صيغِ المركّباتِ الجزيئيةِ الثنائية؟

10. سمِّ المركّباتِ الجزيئيةَ الثنائيةَ التاليةَ بحسبِ نظامِ البادئات (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-4):
أ. CO_2
ب. SeF_6
ج. As_2O_5

11. اكتبْ صيغةَ كلٍّ من المركباتِ الجزيئيةِ الثنائيةِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-4):
أ. رُباعي بروميدِ الكربون
ب. ثنائي أكسيدِ السيليكون
ج. عشاري أكسيد رباعي الفوسفور

12. ميِّزْ بين الأحماضِ الثنائيةِ والأحماضِ الأكسجينيةِ وأعطِ مثالين على كلٍّ منهما.

13. أ. وضِّحِ المقصودَ بالملح.
ب. أعطِ مثالين على الأملاح.

14. سمِّ كلاًّ من الأحماضِ التالية:
أ. HF
ب. HNO_3
ج. H_2SO_4
د. H_3PO_4

15. أعطِ الصيغةَ الجزيئيةَ لكلٍّ من الأحماضِ التالية:
أ. حمضِ الكبريتوز
ب. حمضِ الكلوريك
ج. حمضِ الهيدروكلوريك
د. حمضِ البيركلوريك
هـ. حمضِ الكربونيك
و. حمضِ الأسيتيك

16. سمِّ كلاًّ من الأيوناتِ التاليةِ وفقًا لنظامِ ستوك:
أ. Fe^{2+}
ب. Fe^{3+}
ج. Pb^{2+}

17. سمِّ كلاًّ من المركّباتِ الجزيئيةِ الثنائيةِ الواردةِ في السؤالِ 11 وفقًا لنظامِ ستوك.

18. اكتبْ صيغةَ كلٍّ من المركّباتِ التالية:
أ. يوديدِ الفوسفور (III)
ب. كلوريدِ الكبريت (II)
ج. كبريتيدِ الكربون (IV)
د. أكسيدِ النيتروجين (V)

19. أ. وضِّحِ المقصودَ بعددِ الأكسدة.
ب. ما فائدةُ أعدادِ الأكسدة؟

20. أ. عرِّفِ المول.
ب. ما عددُ الجسيماتِ في مولٍ واحد؟
ج. ما الاسمُ الذي يُطلَقُ على عددِ الجسيماتِ في المولِ الواحد؟

21. أ. ما الكتلةُ الموليةُ لعنصرٍ معيّن؟
ب. اكتبِ الكتلَ الموليةَ إلى رقمينِ عشريينِ للكربونِ والنيونِ والحديدِ واليورانيوم.

22. لو افترضنا أن لديكَ عيّنةً من عنصرٍ معيّن:
أ. كيفَ تحوِّلُ كتلةَ هذا العنصرِ المقيسةَ بالجراماتِ إلى كميةٍ بالمول؟
ب. كيف تحوِّلُ كتلةَ هذا العنصرِ المقيسةَ بالجراماتِ إلى عددِ ما فيه من الذرّات؟

23. أ. عرِّفْ كتلةَ الصيغة.

ب. بأيِّ وحدةٍ يُعبَّرُ عن كتلةِ الصيغة؟

24. ما المقصودُ بالكتلةِ الموليةِ للمركّب؟

25. ما العلاقةُ بين الصيغةِ الأوليةِ والصيغةِ الجزيئيةِ لمركّبٍ معيّن؟

مسائل

تسمياتٌ وصيغٌ كيميائية

26. اكتبْ صيغةَ وشحنةَ كلٍّ من الأيوناتِ التالية:

أ. أيونِ الأمونيوم
ب. أيونِ الأسيتات
ج. أيونِ الكربونات
د. أيونِ الفوسفات
هـ. أيونِ النحاس (I)
و. أيونِ الزئبق (I)

27. سمِّ كلاًّ من الأيوناتِ التالية:

أ. ClO_3^-
ب. OH^-
ج. SO_4^{2-}
د. NO_3^-
هـ. HCO_3^-
و. CrO_4^{2-}

28. اكتبْ صيغَ كلٍّ من المركّباتِ التالية:

أ. فلوريدِ الصوديوم
ب. أكسيدِ الكالسيوم
ج. كبريتيدِ البوتاسيوم
د. كلوريدِ المغنيسيوم
هـ. بروميدِ الألمنيوم
و. نيتريدِ الليثيوم
ز. أكسيدِ الحديد (II)

أعدادُ الأكسدةِ ونظامُ ستوك

29. سمِّ كلاًّ من المركّباتِ الأيونيةِ التاليةِ وفقًا لنظامِ ستوك:

أ. $NaCl$
ب. KF
ج. CaS
د. $FePO_4$

30. احسبْ أعدادَ أكسدةِ كلِّ ذرّةٍ في المركّباتِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-5):

أ. HI
ب. PBr_3
ج. KH
د. H_3PO_4

31. احسبْ أعدادَ أكسدةِ كلِّ ذرّةٍ في الأيوناتِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-5):

أ. NO_3^-
ب. ClO_4^-
ج. $Cr_2O_7^{2-}$
د. CO_3^{2-}

العلاقاتُ بين المولِ والنسبةِ المئويةِ للتركيب

32. (انظرِ المسألتينِ النموذجيتين 1-7، 1-10)، كم جرامًا تبلغُ الكتلةُ في

أ. 1.00 mol من Al
ب. 1.00 mol من Ca
ج. 6.022×10^{23} ذرّةِ كربون C

33. ما عددُ المولاتِ في كلٍّ مما يلي (انظرِ المسألتينِ النموذجيتين 1-8، 1-9):

أ. 6.022×10^{23} ذرّة Ne
ب. 3.25×10^5 g من Pb

34. ما عددُ الذرّاتِ في كلٍّ من:

أ. 1.50 mol من Na
ب. 6.755 mol من Pb

35. كم جرامًا تبلغُ الكتلةُ في كلٍّ من:

أ. 3.011×10^{23} ذرّة F
ب. 1.50×10^{23} ذرّة Mg
ج. 4.50×10^{12} ذرّة Cl
د. 1 ذرّة Au

36. حدِّدْ عددَ الذرّاتِ في كلٍّ من:

أ. 5.40 g من B
ب. 8.02 g من S
ج. 1.50 g من K

37. حدِّدْ كتلةَ الصيغةِ لكلٍّ من المركّبِ والأيونِ التاليين (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-6):

أ. جلوكوز $C_6H_{12}O_6$
ب. أيونِ الكلورات ClO_3^-

38. حدِّدْ عددَ مولاتِ كلِّ نوعٍ من الأيوناتِ أحاديةِ الذرّةِ أو متعددةِ الذرّاتِ في مولٍ واحدٍ من المركّباتِ التالية.

أ. Na_2SO_4
ب. $Ca(OH)_2$
ج. $(NH_4)_2SO_3$
د. $Ca_3(PO_4)_2$

39. ما عددُ مولاتِ المركّبِ في كلٍّ من العيّناتِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-13):

أ. 4.50 g من H_2O
ب. 471.6 g من $Ba(OH)_2$
ج. 129.68 g من $Fe_3(PO_4)_2$

40. حدِّدِ النسبةَ المئويةَ للتركيبِ لكلٍّ من المركّباتِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-14):

أ. $NaCl$
ب. $AgNO_3$
ج. $Mg(OH)_2$

41. حدِّدْ نسبةَ كتلةِ الماءِ في $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-15)

42. حدِّدِ الصيغةَ الأوليةَ لمركّبٍ يحتوي على 63.50% من الفضة و 8.25% من النيتروجين، والباقي أكسجين. (انظرِ المسألةَ النموذجية 1-16)

43. حدِّدِ الصيغةَ الأوليةَ لمركّبٍ يحتوي على 52.11% كربون و 13.14% هيدروجين و 34.75% أكسجين.

44. ما الصيغةُ الجزيئيّةُ لجزيءٍ له صيغةٌ أوليةٌ CH_2O وكتلةٌ موليةٌ 120.12 g/mol؟

45. مركّبٌ له كتلةُ صيغةٍ 42.08 amu وُجِدَ أنه مكوّنٌ كتليًّا من 85.64% كربون و 14.36% هيدروجين. جدْ صيغتَهُ الجزيئية.

مراجعةٌ متنوعة

46. أظهرَ التحليلُ الكيميائيُّ لحمضِ السيتريكِ (حمض الليمون) أنه يحتوي على 37.51% كربون، و 4.20% هيدروجين، و 58.29% أكسجين. فما صيغتُهُ الأولية؟

47. ما الكتلةُ بالجرامِ لكلٍّ من العيّناتِ التالية:

أ. 1.000 mol من NaCl

ب. 2.000 mol من H_2O

48. حدّدْ كتلةَ الصيغةِ والكتلةَ الموليةَ لكلٍّ من المركّبينِ التاليين:

أ. XeF_4 ب. CuCN

49. سمِّ كلاًّ من الأحماضِ التاليةِ وعيِّنْ أعدادَ أكسدةِ الذرّاتِ في كلٍّ منها:

أ. HNO_2 ج. H_2CO_3

ب. H_2SO_3 د. HI

50. حدِّدِ النسبةَ المئويةَ لتركيبِ المركّبينِ التاليين:

أ. NaClO ب. C_2H_5COOH

51. سمِّ كلاًّ من المركّباتِ الثنائيةِ التالية:

أ. MgI_2 ج. CS_2

ب. NaF د. N_2O_4

52. عيّنةُ مركّبٍ كتلتُها 175.0 g تحتوي على 56.15 g من C، و 9.43 g من H، و 74.81 g من O، و 13.11 g من N، و 21.49 g من Na. فما صيغةُ هذا المركّبِ الأولية؟

تفكيرٌ ناقد

53. تحليلُ بيانات: وُضعتْ في المختبرِ عيّنةٌ من النيكلِ النقيِّ في جفنةٍ موزونةٍ نظيفةٍ وجافة. ثم سُخِّنتِ الجفنةُ بحيث يتفاعلُ النيكلُ مع الأكسجينِ في الهواء. فورَ انتهاءِ التفاعل، تمَّ تبريدُ الجفنةِ وتحديدُ كتلتِها. أُعيدَ تسخينُ الجفنةِ ثم تبريدُها. وتمَّ تحديدُ كتلتِها مجددًا للتأكدِ من أن التفاعلَ اكتمل. وتمَّ الحصولُ على البياناتِ التالية:

كتلةُ الجفنة	30.02 g =
كتلةُ النيكلِ مع الجفنة	31.07 g =
كتلةُ أكسيدِ النيكلِ مع الجفنة	31.36 g =

بناءً على هذه البياناتِ، كم جرامًا تبلغُ كلُّ من الكتلِ التالية:

كتلةُ النيكل

كتلةُ أكسيدِ النيكل

كتلةُ الأكسجين

وبناءً على حساباتِك، ما الصيغةُ الأوليةُ لأكسيدِ النيكل؟

بحثٌ وكتابة

54. موادُّ كيميائيةٌ متداولة: جدِ الاسْمَ الكيميائيَّ العلميَّ واكتبِ الصيغةَ الكيميائيةَ لكلٍّ من المركّباتِ المتداولةِ التالية، ثم ابحثْ في أهمِّ استخداماتِها وتطبيقاتِها الحياتية.

أ. مسحوقُ الخبيز د. الحجرِ الجيري

ب. لبن المغنيسيا هـ. الصودا الكاوية

ج. ملح إبسوم و. كحول الخشب

تقويمٌ بديل

55. تقويمُ الأداء: سيزوِّدُكَ معلمُكَ ببطاقةٍ كُتِبَ عليها صيغةٌ واحدةٌ من الصيغِ التالية: $CH_3COONa{\cdot}3H_2O$، $MgCl_2{\cdot}6H_2O$، $C_2H_3O_2Li{\cdot}2H_2O$، $MgSO_4{\cdot}7H_2O$. صمِّمْ اختبارًا لتحديدِ نسبةِ كتلةِ الماءِ في الملحِ المائيِّ (الهيدرات) المعطى لك. تأكدْ من تفسيرِ المراحلِ التي ستتبعُها لتتأكدَ من أن الملحَ جافٌّ كليًّا. إذا وافقَ معلمُك على تصميمِك، خذِ الملحَ وأجرِ الاختبار. ما النسبةُ المئويةُ للماءِ الذي يحتوي عليهِ الملح؟

56. يُستعمَلُ كلٌّ من الأمونيا NH_3، ونيتراتِ الأمونيوم NH_4NO_3، في الأسمدةِ كمصدرٍ للنيتروجين. أيُّ المركّبينِ يحتوي على أعلى نسبةٍ مئويةٍ من النيتروجين؟ ابحثْ في الخصائصِ الفيزيائيةِ للمركّبين، وتعرَّفْ إلى طريقةِ تصنيعِ كلٍّ منهما وكيفيةِ استعمالِهما. اشرحْ سببَ الخصوصيةِ التطبيقيةِ لكلِّ مركّب. (خذْ بعينِ الاعتبارِ عواملَ كلفةِ الموادِّ الخام، وسهولةِ التصنيع، وكلفةِ الشحن، وغيرَها...)

مشروعٌ علمي

57. نفِّذْ في صورةِ عملٍ جماعيٍّ، وبالتنسيقِ مع معلمِكَ المشروعَ العلميَّ التالي:

«استقصاءُ جودةِ المياهِ في عيّناتٍ مختلفةٍ من بيئتِك».

الفصـــل 2

المعادلاتُ والتفاعلاتُ الكيميائية



إنَّ تكوُّنَ الضوءِ والحرارةِ مؤشِّرٌ يدلُّ على حدوثِ تفاعلٍ كيميائيّ

وصفُ التفاعلاتِ الكيميائية

القســـم 1-2

مؤشراتُ الأداء

- يكتشفُ المؤشراتِ الدالةَ على حدوثِ تفاعلٍ كيميائيّ.
- يحددُ الشروطَ اللازمةَ لكتابةِ معادلةٍ كيميائيةٍ صحيحة.
- يكتبُ معادلةً بالصيغِ لتفاعلٍ كيميائيٍّ معيَّن.
- يَزِنُ معادلةً كيميائيةً بالمعاينة (المحاولة للوصولِ إلى الصواب).

التفاعلُ الكيميائيُّ عمليةٌ تتحوَّلُ خلالها مادةٌ أو أكثرُ إلى مادةٍ جديدةٍ أو أكثر. المادةُ أو الموادُّ الداخلةُ في التفاعلِ الكيميائيِّ تُعرفُ باسم «المتفاعلات»، أما الموادُّ المتكوّنةُ فتسمّى «النواتج». وحسبَ قانونِ حفظِ الكتلةِ يكونُ حاصلُ جمعِ كتلِ المتفاعلاتِ مساويًا لحاصلِ جمعِ كتلِ النواتجِ في تفاعلٍ كيميائي.

ويعبّرُ عن التفاعلِ الكيميائيِّ **بمعادلةٍ كيميائيةٍ chemical equation**، وهي: ***تمثيلٌ بالرموزِ والصيغِ للمتفاعلاتِ والنواتجِ وكمياتِها النسبيةِ في التفاعل.*** على سبيلِ المثال، تُظهرُ المعادلةُ الكيميائيةُ التاليةُ أن المتفاعلَ ثانيَ كروماتِ الأمونيوم يعطي هذه النواتج: النيتروجين، أكسيد الكروم (III)، الماء.

$$(NH_4)_2Cr_2O_7(s) \rightarrow N_2(g) + Cr_2O_3(s) + 4H_2O(g)$$

الشكل 1-2 يبيِّنُ هذا التفاعلَ الطاردَ للحرارة exothermic reaction.

مؤشراتُ حدوثِ التفاعلِ الكيميائيّ

للتحقق من حدوثِ أيِّ تفاعلٍ كيميائيّ، لا بد من وجودِ دليل يؤكدُ أن مادةً واحدةً أو أكثر قد تعرضَتْ لتغيُّرٍ في هويتِها. وهذا يتطلبُ إجراءَ تحليلٍ كيميائيٍّ للنواتج. إلا أن هناك تغيُّراتٍ سهلةَ الملاحظةِ قد تشيرُ إلى حدوثِ تفاعلٍ كيميائيّ. ومنها:

1. **تولُّدُ الضوءِ والحرارة**: إن أيَّ تغيُّرٍ في المادةِ يحررُ طاقةً ضوئيةً وطاقةً حراريةً يعتبرُ دليلاً قويًّا على حدوثِ تفاعلٍ كيميائيٍّ معيَّن. فعلى سبيلِ المثال، تحلُّلُ ثاني كروماتِ الأمونيوم يصْحَبُهُ ظهورُ كثيرٍ من الضوءِ والحرارة، كما تلاحظُ في الشكل 1-2. والتفاعلُ الكيميائيُّ بين الغازِ الطبيعيِّ والأكسجين، والذي يحدثُ إذا أشعلْتَ الغازَ المخصصَ للطهيِ في منزلِك. مثالٌ آخر، إن بعضَ التفاعلاتِ تُحرّرُ إما حرارةً وإما ضوءًا، غير أن تكوُّنَ الحرارةِ أو الضوءِ، كلٍّ على حدة، لا يشيرُ بالضرورةِ إلى حدوثِ تغيرٍ كيميائي، لأن كثيرًا من التغيُّراتِ الفيزيائيةِ تحرِّرُ هي الأخرى ضوءًا أو حرارة.
2. **إنتاجُ الغاز**: تكوُّنُ فقاقيعَ من الغازِ لدى اتحادِ مادتينِ معينتينِ يدلُّ غالبًا على حدوثِ تفاعلٍ كيميائي. فعلى سبيلِ المثال، يحدثُ تفاعلٌ شديدٌ عند مزجِ مسحوقِ الخبيزِ مع الخلّ، وتتكوّنُ فقاقيعُ من غازِ ثنائيِّ أكسيدِ الكربون. هذا ما يوضحُهُ الشكل 2-2 (أ).
3. **تكوينُ راسب**: يوجدُ الكثيرُ من التفاعلاتِ الكيميائيةِ التي تحصلُ بين موادَّ ذائبةٍ في سوائلَ (محاليل). فالصلبُ الذي يتكوَّنُ لدى مزجِ محلولينِ هو دليلٌ على حدوثِ تفاعلٍ كيميائي. ***والصلبُ الذي ينتجُ عن تفاعلٍ كيميائيٍّ يحدثُ في محلولٍ معيَّنٍ وينفصلُ عن المحلولِ يعرفُ باسم الراسب* precipitate**. الشكلُ 2-2 (ب) يوضحُ تفاعلاً يؤدي إلى تكوينِ راسب.



الشكل 1-2 عمليةُ تحلل ثاني كروماتِ الأمونيوم تتمُّ بشكل سريع، وتحرِّرُ طاقة على شكل ضوءٍ وحرارة.

الشكل 2-2 (أ) يُستدَلُّ على تفاعلِ الخلِّ مع مسحوقِ الخبيزِ من تكوُّنِ فقاقيعِ غازِ ثاني أكسيدِ الكربون. (ب) عندما تتحدُ محاليلُ مائيةٌ من كبريتيدِ الأمونيوم ونيتراتِ الكادميوم ينتجُ راسبٌ أصفرُ من كبريتيدِ الكادميوم.



(أ)



(ب)

4. **تغيُّرُ اللون**: إن أي تغيُّرٍ في اللونِ غالبًا ما يدلُّ على حدوثِ تفاعلٍ كيميائي.

شروطُ كتابةِ المعادلاتِ الكيميائية

يمكنُ لأيِّ معادلةٍ كيميائيةٍ مكتوبةٍ بشكلٍ صحيحٍ أن تلخصَ أيَّ تغيرٍ كيميائيٍّ حاصل. والشروطُ التاليةُ تساعدُكَ على كتابةِ وقراءةِ المعادلاتِ الكيميائيةِ بشكلٍ صحيح.

1. ***يجبُ أن تمثِّلَ المعادلةُ حقائقَ معروفة***، وأن تكونَ كلُّ المتفاعلاتِ والنواتجِ واضحةَ الهوية، أي معروفةً إما من خلالِ التحليلِ الكيميائيِّ في المختبر، أو من المراجعِ التي تعطي نتائجَ التجارب.

2. ***يجبُ أن تحتويَ المعادلةُ على الصيغِ الصحيحةِ للمتفاعلاتِ والنواتج***. إن معرفة حالاتِ تأكسدِ العناصرِ الشائعة، ومعرفةَ طرائقِ كتابةِ الصيغِ تمكنانِ من معرفةِ صيغِ المتفاعلاتِ والنواتج. تذكرْ أن العناصرَ المكتوبةَ في الجدول 2-1 توجَدُ على شكلِ جزيئاتٍ ثنائيةِ الذرّة، مثل H_2 و O_2، وأيٌّ من هذه العناصرِ يتمثَّلُ في معادلةٍ من خلالِ صيغتِهِ الجزيئية. وهناكَ عناصرُ أخرى في حالتِها الأولية (العنصرية) تتمثلُ عادةً وبشكلٍ مبسطٍ برموزِها الذرّية. فعلى سبيلِ المثال، يتمثَّلُ الحديدُ بـ Fe والكربون بـ C. ولا يوجدُ أيُّ أرقامٍ سفليةٍ لهذه الرموز، لأن عناصرَها لا تكوِّنُ بنًى جزيئيةً محدّدة. لكنْ شذَّ عن هذه القاعدةِ حالتانِ هما: الكبريتُ الذي يُكتبُ عادةً S_8، والفوسفورُ الذي يُكتبُ عادةً P_4.

3. ***يجبُ تحقيقُ قانونِ حفظِ الكتلة***. إن الذرّاتِ لا يمكنُ أن تُستحدثَ ولا أن تفنى في التفاعلاتِ الكيميائيةِ العادية. لذلك يجبُ أن يظهرَ عددُ الذرّاتِ نفسُهُ لكلِّ عنصرٍ على كلٍّ من جهتي المعادلةِ الكيميائيةِ الصحيحة. ولكي تتساوى أعدادُ ذرّاتِ العناصرِ على جهتي المعادلةِ يجبُ إضافةُ مُعاملٍ ملائمٍ حيثما يلزم. ويُقصدُ **بالمُعامل coefficient** ***رقمٌ صغيرٌ صحيحٌ يظهرُ أمامَ الصيغةِ في المعادلةِ الكيميائية***. إن معاملَ الصيغةِ يحدِّدُ عددَ المولاتِ النسبيَّ للمادة. فإن لم يُكتبِ المعاملُ فهذا يعني أنه يساوي 1. المعاملُ 4 في المعادلةِ المكتوبةِ في الصفحة 47، يدلُّ على تكوُّنِ 4 مولاتٍ من الماءِ لكلِّ مولٍ ينتجُ من النيتروجينِ وأكسيدِ الكروم (III).

الجدول 1-2 العناصرُ التي توجدُ على شكلِ جزيئاتٍ ثنائيةِ الذرّة

اسمُ العنصر	الرمز	الصيغةُ الجزيئية	الحالةُ الفيزيائيةُ عند درجةِ حرارةِ الغرفة
هيدروجين	H	H_2	غاز
نيتروجين	N	N_2	غاز
أكسجين	O	O_2	غاز
فلور	F	F_2	غاز
كلور	Cl	Cl_2	غاز
بروم	Br	Br_2	سائل
يود	I	I_2	صلب

المعادلاتُ بالصيغ

الخطوةُ الأولى في كتابةِ معادلةٍ كيميائيةٍ هي تحديدُ الحقائقِ العلميةِ التي تمثّلُها. ومن المفيدِ أحيانًا أن تُكتبَ **المعادلةُ بالكلمات word equation**، ***ويقصدُ بذلكَ المعادلةُ التي تتمثّلُ فيها المتفاعلاتُ والنواتجُ بكلمات.*** المعادلةُ بالكلماتِ لها معنى وصفيٌّ فقط، لأنها لا تعطي كمياتِ المتفاعلاتِ المستخدمة، ولا كمياتِ النواتجِ التي يُحصَلُ عليها. فمثلاً تفاعلُ الميثان (المكوِّنِ الأساسيِّ للغازِ الطبيعي) مع الأكسجين، فعندما يحترقُ الميثانُ في الهواءِ يتحدُ مع الأكسجينِ ليعطيَ ثانيَ أكسيدِ الكربون وبخارَ الماء. الميثانُ والأكسجينُ في هذا التفاعلِ يمثّلانِ المتفاعلين، وثاني أكسيدِ الكربون والماءُ يمثّلانِ الناتجين.

والخطوةُ التاليةُ في كتابةِ معادلةٍ كيميائيةٍ صحيحةٍ هي كتابةُ الرموزِ والصيغِ للمتفاعلاتِ والنواتج. فالميثانُ هو مركّبٌ جزيئيٌّ يتكوّنُ من ذرّةِ كربونٍ وأربعِ ذرّاتِ هيدروجين، وصيغتُهُ الكيميائيةُ CH_4. وبما أن الأكسجينَ يوجدُ في الطبيعةِ على شكلِ جزيئاتٍ ثنائيةِ الذرةِ فإنه يتمثلُ بـ O_2. والصيغتانِ الصحيحتانِ لثاني أكسيدِ الكربون والماءِ هما على التوالي CO_2 و H_2O.

تتمثّلُ المعادلةُ بالصيغِ **formula equation** ***بصيغِ التفاعلِ الكيميائي ورموزهِ ومتفاعلاتِهِ ونواتجِهِ.*** وهكذا فإن المعادلةَ بالصيغِ لتفاعلِ الميثانِ والأكسجينِ تكتبُ كما يلي:

$$CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g) \quad \text{(معادلة غير موزونة)}$$

تدلُّ (g) بعد كلِّ صيغةٍ على أن المادةَ في حالتِها الغازية (gas). وللمعادلةِ بالصيغ، كما للمعادلةِ بالكلمات، معنًى كيفيٌّ أو وصفيٌّ، وهي لا تعطي معلوماتٍ حولَ كمياتِ المتفاعلاتِ والنواتج.

المعادلةُ بالصيغِ تستوفي اثنينِ من ثلاثةِ شروطٍ ضروريةٍ لكتابةِ معادلةٍ كيميائيةٍ صحيحة. إنها تمثلُ الحقائقَ وتُظهرُ الرموزَ والصيغَ الصحيحةَ للمتفاعلاتِ والنواتج.

ولإنهاءِ عمليةِ كتابةِ معادلةٍ صحيحة، يجبُ أن يؤخذَ بعينِ الاعتبارِ قانونُ حفظِ الكتلةِ بتعديلِ كمياتِ المتفاعلاتِ والنواتجِ النسبيةِ المتمثلةِ في المعادلةِ لتصبحَ أعدادُ الذرّاتِ وأنواعُها هي ذاتَها في طرفي المعادلة. وتسمّى هذه العمليةُ وزنَ المعادلة، وهي تتمُّ بإدخالِ المعاملاتِ الملائمة. وعندما تتمُّ الموازنةُ تكونُ المعادلةُ بالصيغِ معادلةً كيميائيةً مكتوبةً بشكلٍ صحيح.

انظرِ الآنَ مجدّدًا إلى المعادلةِ بالصيغِ لتفاعلِ الميثانِ مع الأكسجين:

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$ (معادلة موزونة)

ويعبِّرُ الشكلُ 2-3 عن هذا التفاعل.

(أ)

(ب)

جزيئات	CH_4	+	$2O_2$	$\rightarrow$	CO_2	+	$2H_2O$
ذرّات	(1C, 4H)	+	(4O)	$\rightarrow$	(1C, 2O)	+	(4H, 2O)

الشكل 3-2 (أ) يتحدُ الميثانُ مع أكسجينِ الهواءِ في لهبِ بنزن ليكوِّنا ثنائي أكسيدِ الكربون وبخارَ الماء. (ب) يتمثلُ التفاعلُ بالنموذجِ الجزيئيِّ أو المعادلةِ الموزونة. وكلاهما يُبيِّنُ أن عددَ ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ في المتفاعلاتِ يساوي عددَ ذرّاتِ العنصرِ نفسِهِ في النواتج.

رموزٌ إضافيةٌ تستعملُ في المعادلاتِ الكيميائية

يختصرُ الجدول 2-2 في الصفحة 51 الرموزَ الأكثرَ استعمالاً في المعادلاتِ الكيميائية. يُرمَزُ أحيانًا لناتجٍ غازيٍّ بسهمٍ متجهٍ نحو الأعلى، $\uparrow$، بدلَ الرمز (g)، كما هو في الجدول. ويُستخدَمُ أحيانًا سهمٌ متجهٌ نحو الأسفل، $\downarrow$، ليدلَّ على تكوينِ راسبٍ أثناءَ تفاعلٍ في محلول.

إن الشروطَ التي يحدثُ بها تفاعلٌ ما تُوَضَّحُ غالبًا بوضعِ المعلوماتِ الخاصةِ فوقَ أو تحتَ سهمِ التفاعل. فيُرمَزُ إلى كلمةِ حرارةٍ بالحرفِ اليونانيِّ الكبيرِ دلتا (Δ) ليشيرَ إلى أنه يجبُ تسخينُ المتفاعلات. وتكتبُ أحيانًا فوقَ السهمِ درجةُ الحرارةِ التي يحدثُ التفاعلُ عندها. ومن المهمِّ في بعضِ التفاعلاتِ أن يُحدَّدَ الضغطُ الذي يتمُّ التفاعلُ عنده، أو أن يُوَضَّحَ أنّ الضغطَ أكبرُ من الضغطِ الجويِّ الاعتيادي. يمكنُ لبعضِ التفاعلاتِ أن تُسرَّعَ

الجدول 2-2 الرموزُ التي تستعملُ في المعادلاتِ الكيميائية

الرمز	الشرح
$\rightarrow$	«ينتجُ» ويدلُّ على نتيجةِ التفاعل
$\leftrightarrows$	يستعملُ مكانَ سهمٍ واحدٍ ليدلَّ على تفاعلٍ انعكاسي
(s)	متفاعلٌ أو ناتجٌ في الحالةِ الصلبة، ويستعملُ كذلكَ ليدلَّ على راسب
$\downarrow$	ينوبُ عن (s)، لكنه يستخدمُ فقط ليدلَّ على الراسب
(l)	متفاعلٌ أو ناتجٌ في الحالةِ السائلة
(aq)	محلولٌ مائيٌّ لمتفاعلٍ أو ناتج
(g)	متفاعلٌ أو ناتجٌ في الحالةِ الغازية
$\uparrow$	ينوبُ عن (g)، لكنه يستخدمُ فقط للنواتجِ الغازيةِ وليس للمتفاعلات
$\xrightarrow{\Delta}$ أو $\xrightarrow{\text{حرارة}}$	المتفاعلاتُ تُسخنُ (تفاعلٌ يحتاجُ إلى حرارة)
$\xrightarrow{2\ atm}$	الضغطُ الذي يتمُّ به التفاعل، في هذه الحالةِ يساوي الضغط 2 atm
$\xrightarrow{\text{ضغط}}$	الضغطُ الذي يتمُّ عنده التفاعلُ ويتجاوزُ الضغطَ الجويَّ العادي
$\xrightarrow{0°C}$	درجةُ الحرارةِ التي يتمُّ عندها التفاعل. وهي هنا 0°C
$\xrightarrow{MnO_2}$	صيغةُ الحفّاز، وفي هذه الحالةِ يُستخدَمُ ثاني أكسيدِ المنجنيز ليسرِّعَ التفاعل

وتحدُثَ عند درجاتِ حرارةٍ متدنيةٍ بوجودِ حفّازٍ محدّد. ***والحفّازُ catalyst مادةٌ تغيِّرُ من سرعةِ تفاعلٍ كيميائيٍّ معيَّن، ويمكنُ استرجاعُهُ دون أن يتغيَّر.*** ولكي نرى أن الحفّازَ قد استُعمِل، نكتُبُ صيغتَهُ أو اسمَهُ فوقَ سهمِ التفاعل.

وفي كثيرٍ من التفاعلات، عندما تبدأ النواتجُ بالتكوُّنِ تبدأُ بالتفاعلِ فيما بينها، وتكوِّنُ المتفاعلاتِ من جديد، أي يمكنُ أن يحدثَ التفاعلُ الانعكاسيُّ كذلك. **التفاعلُ الانعكاسيُّ reversible reaction** ***هو تفاعلٌ كيميائيٌّ يمكنُ للنواتجِ فيه أن تعيدَ تكوينَ المتفاعلاتِ الأصلية.*** ويُعبَّرُ عن انعكاسيةِ تفاعلٍ معينٍ بكتابةِ سهمينِ متضادينِ في الاتجاهِ بين طرفَيِ المعادلة. فمثلاً، يُكتبُ التفاعلُ الانعكاسيُّ بين الحديدِ وبخارِ الماءِ كما يلي:

$$3Fe(s) + 4H_2O(g) \leftrightarrows Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$$

وبمعرفةِ كلِّ الرموزِ والصيغِ المستعملة، يمكنُ التعبيرُ عن أيِّ معادلةٍ كيميائيةٍ بجملة. فمثلاً، معادلةُ التفاعلِ التالي:

$$2HgO(s) \xrightarrow{\Delta} 2Hg(l) + O_2(g)$$

يمكنُ أن يعبّرَ عنها بالجملةِ التالية: «عند تسخينِ أكسيدِ الزئبقِ (II) الصلبِ نحصلُ على زئبقٍ سائلٍ وغازِ أكسجين».

من ناحيةٍ ثانيةٍ يمكنُ كتابةُ معادلةٍ كيميائيةٍ انطلاقًا من جملةٍ تصفُ تفاعلاً كيميائيًّا. مثلاً الجملةُ التالية: «يتّحدُ غازا الإيثين والهيدروجين تحت ضغطٍ معيَّن، وبوجودِ حفّازِ البلاتين، فيكوّنان غازَ الإيثان». وتُحوَّلُ هذه الجملةُ إلى المعادلةِ التالية:

$$C_2H_4(g) + H_2(g) \xrightarrow[Pt]{\text{ضغط}} C_2H_6(g)$$

تتضمّنُ المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ عادةً رموزَ الحالةِ الفيزيائية (s، l، g، aq) الموصوفةَ في الجدول 2-2.

مسألةٌ نموذجية 1-2

اكتبِ المعادلةَ بالصيغِ للتفاعلِ الكيميائيِّ الذي يحدثُ عند إذابةِ أكسيدِ الكالسيوم (الجير الحي) الصلبِ في الماء ليكوِّنَ محلول هيدروكسيد الكالسيوم. ثم أدخلْ رموزَ الحالةِ الفيزيائيةِ في هذه المعادلة.

الحلّ

الموادُّ المتفاعلةُ هنا هي أكسيدُ الكالسيوم والماء والمادةُ الناتجةُ هي هيدروكسيدُ الكالسيوم، ويعبَّرُ عن المعادلةِ بالصيغِ كالتالي:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad \text{(موزونة)}$$

وبإضافةِ رموزِ الحالةِ الفيزيائيةِ للمتفاعلاتِ والنواتج، تصبحُ المعادلةُ الكيميائيةُ كالتالي:

$$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq) \quad \text{(موزونة)}$$

مسألةٌ نموذجية 2-2

عبّرْ عن المعادلةِ الكيميائيةِ التاليةِ بجملةٍ أو أكثر:

$$\mathbf{PbCl_2(aq) + Na_2CrO_4(aq) \rightarrow PbCrO_4(s) + 2NaCl(aq)}$$

الحلّ

كلُّ متفاعلٍ هو مركّبٌ أيوني، ويسمى حسبَ قاعدةِ تسميةِ المركّباتِ الأيونية. والمتفاعلانِ كلاهما في محلولٍ مائي. ينتجُ عن هذا التفاعلِ ناتجٌ راسبٌ وآخرُ قابلٌ للذوبان. وبذلك يُعبَّرُ عن المعادلةِ بما يلي: «يتفاعلُ محلولا كلوريدِ الرصاص (II) وكروماتُ الصوديوم، فينتجُ عن تفاعلِهما راسبُ كروماتِ الرصاص (II) وكلوريدُ الصوديوم القابلُ للذوبانِ في المحلولِ المائي».

تمارينُ تطبيقية

1. اكتبْ معادلاتِ الصيغِ مع إضافةِ رموزِ الحالةِ الفيزيائية.

أ. يتفاعلُ المغنيسيوم الصلبُ مع محلولِ حمضِ الكبريتيك لينتجَ غازُ الهيدروجين ومحلولُ كبريتاتِ المغنيسيوم.

ب. يتفاعلُ محلولا بروميدِ البوتاسيوم ونيتراتِ الفضةِ ليعطيا محلولَ نيتراتِ البوتاسيوم وراسبَ بروميدِ الفضة.

الجواب

1. أ. $Mg(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow MgSO_4(aq) + H_2(g)$

ب. $KBr(aq) + AgNO_3(aq) \rightarrow KNO_3(aq) + AgBr(s)$

2. حوِّلِ المعادلاتِ الكيميائيةَ التاليةَ إلى جمل:

أ. $CS_2(l) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g)$

ب. $NaCl(aq) + AgNO_3(aq) \rightarrow NaNO_3(aq) + AgCl(s)$

الجواب

2. أ. يتفاعلُ سائلُ ثنائي كبريتيدِ الكربون مع غازِ الأكسجين ليَنتُجَ غازُ ثنائي أكسيدِ الكربون وغازُ ثنائي أكسيدِ الكبريت.

ب. يتفاعلُ المحلولُ المائيُّ لكلوريدِ الصوديوم والمحلولُ المائيُّ لنيتراتِ الفضةِ ليَنتُجَ عنهما محلولُ نيتراتُ الصوديوم وراسبُ كلوريدِ الفضة.

دلالةُ المعادلةِ الكيميائية

للمعادلاتِ الكيميائيةِ فائدةٌ كبيرةٌ في المجالِ الكيميائيِّ الكمِّي. لنتفحَّصْ فيما يلي بعضَ المعلوماتِ الكميةِ التي تُستخلَصُ من المعادلةِ الكيميائية.

1. **تدلُّ معاملاتُ التفاعلِ الكيميائيِّ على الكمّياتِ النسبيةِ لكلٍّ من المتفاعلاتِ والنواتج.** وتُظهرُ المعادلةُ الكيميائية، عادةً، العددَ الأصغرَ للذرّاتِ أو للجزيئاتِ أو للأيوناتِ التي تحققُ قانونَ حفظِ الكتلةِ في تفاعلٍ معيَّن.

لنأخذْ مثلاً معادلةَ تكوينِ كلوريدِ الهيدروجين من الهيدروجين والكلور:

$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$$

تدلُّ المعادلةُ على أن جزيئًا واحدًا من الهيدروجين يتفاعلُ مع جزيءٍ واحدٍ من الكلورِ لتكوينِ جزيئَين من كلوريدِ الهيدروجين. وبذلك تعطي المعادلةُ النسبَ الجزيئيةَ التاليةَ للمتفاعلاتِ والنواتج:

جزيء H_2 :جزيء Cl_2 :جزيئان HCl

تُظهرُ هذه النسبُ كمياتٍ نسبيةً هي أصغرُ نِسَبٍ للمتفاعلاتِ والنواتج. ولكي نحصلَ على كمياتٍ نسبيةٍ أكبر، نضربُ كلَّ معاملٍ بالعددِ ذاتِه. وهكذا نقولُ إن 20 جزيئًا من الهيدروجين تتفاعلُ مع 20 جزيئًا من الكلور لتكوين 40 جزيئًا من كلوريدِ الهيدروجين. كذلك يمكنُ التعبيرُ عن التفاعلِ بكمياتِ المولات: فنقول 1 mol من جزيئاتِ الهيدروجين يتفاعلُ مع 1 mol من جزيئاتِ الكلورِ ليكوِّنا 2 mol من جزيئاتِ كلوريدِ الهيدروجين.

2. **يمكنُ تحديدُ الكتلِ النسبيةِ للمتفاعلاتِ والنواتجِ لأيِّ تفاعلٍ اعتمادًا على معاملاتِ التفاعل.** راجعِ الشكل 1-4 في الصفحة 28 الذي يوضِّحُ أنه يمكنُ تحويلُ عددِ المولاتِ لكتلةٍ بالجرامات، وذلكَ بضربِ المولاتِ في الكتلةِ الموليةِ المناسبة. إن 1 mol من الهيدروجين، كما هو معروف، يتفاعلُ مع 1 mol من الكلورِ فيكوِّنانِ 2 mol من كلوريدِ الهيدروجين. ويمكنُ حسابُ الكتلِ النسبيةِ للمتفاعلاتِ والنواتجِ كما يلي:

$$1 \text{ mol } H_2 \times \frac{2.02 \text{ g } H_2}{\text{mol } H_2} = 2.02 \text{ g } H_2$$

$$1\ \text{mol}\ Cl_2 \times \frac{70.90\ g\ Cl_2}{\text{mol}\ Cl_2} = 70.90\ g\ Cl_2$$

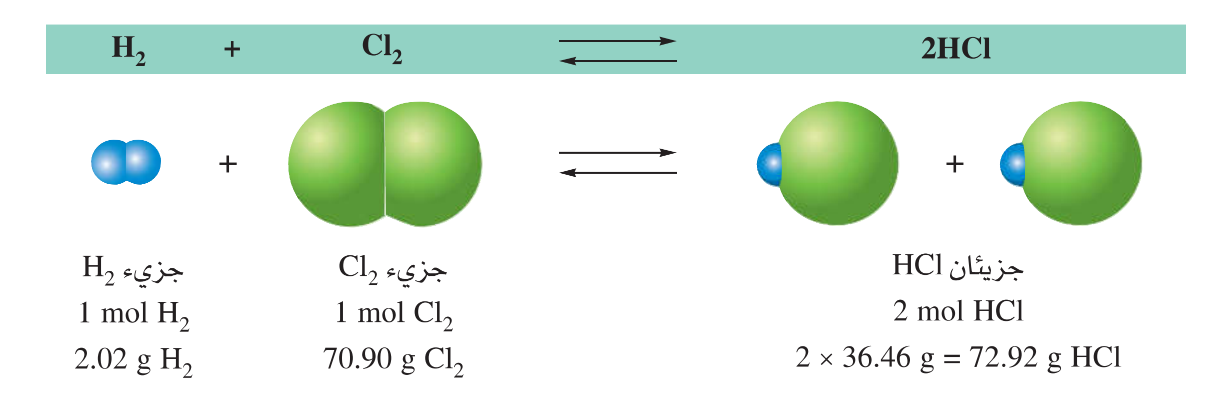
$$2\ \text{mol HCl} \times \frac{36.46\ g\ HCl}{\text{mol HCl}} = 72.92\ g\ HCl$$

تُظهرُ المعادلةُ الكيميائيةُ أن 2.02 g من الهيدروجين تفاعلتْ مع 70.90 g من الكلور فنتجَ عن ذلك 72.92 g من كلوريدِ الهيدروجين.

3. **للتفاعلِ العكسيِّ في المعادلةِ الكيميائيةِ الكمياتُ النسبيةُ نفسُها من الموادِّ الموجودة في التفاعلِ الأمامي (الطردي).** يرجِعُ ذلك إلى أن المعادلة الكيميائية شبيهةٌ بالمعادلةِ الجبرية، حيثُ تُقرَأُ علامةُ المساواةِ فيها في كلا الاتجاهين. لدى قراءتِكَ معادلةَ تكوُّنِ كلوريدِ الهيدروجين، الموضحة في الشكل 2-4، من اليمينِ إلى اليسارِ ترى أن جزيئَينِ من كلوريدِ الهيدروجين يتفككانِ لتكوين جزيءِ هيدروجينٍ مع جزيءِ كلور. وبشكلٍ مشابهٍ فإن (72.92 g) 2 mol من كلوريدِ الهيدروجين تعطي 1 mol (2.02 g) من الهيدروجين و 1 mol (70.90 g) من الكلور.

لا تعطي المعادلاتُ الكيميائيةُ أيَّ معلوماتٍ حول سرعةِ التفاعلاتِ أو كيفيةِ تغيُّرِ الترابطِ بين الذرّاتِ أو الأيوناتِ أثناءَ التفاعل.

الشكل 2-4 يُمكِنُ تمثيلُ تفاعلِ الهيدروجين مع الكلور لتكوينِ كلوريدِ الهيدروجين بعدةِ طرق.



وزنُ المعادلاتِ الكيميائية

معظمُ المعادلاتِ المذكورةِ في هذا الفصل يمكنُ وزنُها بالمعاينةِ المباشرة. توضحُ طريقةُ العملِ التاليةُ كيف يمكنُ وزنُ المعادلاتِ بالمعاينةِ وباستخدامِ طريقةِ الـ «خطوة خطوة». وستُستخدَمُ معادلةُ تحللِ الماءِ (الشكل 2-5) كمثالٍ على ذلك.

1. **حدِّدْ أسماءَ المتفاعلاتِ والنواتجِ واكتبِ المعادلةَ الكيميائية.**

2. **اكتبِ المعادلةَ بعدَ استبدالِ الصيغِ الصحيحةِ بأسماءِ المتفاعلاتِ والنواتجِ،** علمًا أن صيغةَ الماءِ هي H_2O، وأن الهيدروجين والأكسجين غازانِ موجودانِ بشكلِ جزيئاتٍ

ثنائيةِ الذرّة، وأن صيغتَيهما على التوالي هما H_2 و O_2:

$$H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + O_2(g)$$ (غير موزونة)

3. زنِ المعادلةَ بالصيغ وفقًا لقانونِ حفظِ الكتلة. المرحلةُ الأخيرةُ هذه تتمُّ باعتمادِ طريقةِ المحاولةِ وصولاً إلى الصواب. فتُغيَّرُ المعاملاتُ تبعًا لذلك، تحسَبُ أعدادُ الذرّاتِ في طرفَي المعادلة. عندما يصبحُ عددُ كلِّ نوعٍ من الذرّاتِ هو ذاتُهُ في طرفَي المعادلةِ تصبحُ المعادلةُ موزونة. يمكنُ أن تصبحَ طريقةُ «المحاولةِ وصولاً إلى الصواب» في موازنةِ المعادلاتِ الكيميائيةِ أكثرَ سهولةً باستخدامِ الإرشاداتِ التالية:

- وازنْ بين مختلفِ أنواعِ الذرّاتِ معتمدًا نوعًا واحدًا في كلِّ مرّة.
- ابدأ بموازنةِ ذرّاتِ العناصرِ المتّحدةِ التي تظهرُ مرةً واحدةً فقط في كلٍّ من طرفَي المعادلة.
- وازنْ بين الأيوناتِ متعددةِ الذرّاتِ في طرفَي المعادلةِ باعتبارِها وحداتٍ منفردة.
- وازنْ بين ذرّاتِ الهيدروجين ثم بين ذرّاتِ الأكسجينِ بعد أن تكونَ موازنةُ ذرّاتِ جميعِ العناصرِ الأخرى قد استُكمِلت.

يُظهِرُ المثالُ السابق، المتعلِّقُ بالمعادلةِ بالصيغ، أن هناك ذرّتَيْ أكسجينٍ في الطرفِ الأيمنِ وذرّةً واحدةً في الطرفِ الأيسر، لذلك يجبُ زيادةُ عددِ جزيئاتِ H_2O. ويتمُّ ذلك بوضعِ المعاملِ 2 أمامَ H_2O لنحصُلَ على ذرّتي الأكسجينِ الضرورتينِ في الطرفِ الأيسر.

$$2H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + O_2(g)$$ (موزونة جزئيًّا)

لكنَّ وضعَ المعاملِ 2 أمامَ H_2O أخلَّ بتوازنِ ذرّاتِ الهيدروجين. لذلك، يجبُ وضعُ المعاملِ 2 أمامَ H_2 في الطرفِ الأيمنِ من المعادلةِ ليتساوى عدد ذرّاتِ الهيدروجين في طرفَي المعادلة.

$$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$

4. احسبْ عددَ الذرّاتِ للتحقق من وزنِ المعادلة. تأكّدْ من أن عددَ ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ متساويةٌ في طرفَي السهم.

$$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$
$$(4H + 2O) = (4H) + (2O)$$

قد يحدثُ أحيانًا أن لا تمثِّلَ المعاملاتُ النسبةَ الأصغرَ الصحيحةَ لأعدادِ المتفاعلاتِ والنواتج. في هذه الحالةِ يجبُ قسمةُ المعاملاتِ على رقمٍ هو العاملُ المشتركُ الأعلى بينها، وذلك للحصولِ على أصغرِ معاملاتٍ صحيحةٍ ممكنة.

إن موازنةَ المعادلاتِ الكيميائيةِ بالمعاينةِ يصبحُ أكثرَ سهولةً كلّما تراكمتْ تجربتُك. لكن تعلّمْ كيف تتجنّبُ الأخطاءَ الأكثرَ شيوعًا في هذه العملية، ومنها:

(1) كتابةُ صيغٍ كيميائيةٍ غيرِ صحيحةٍ للمتفاعلاتِ أو النواتج.

(2) محاولةُ موازنةِ المعادلةِ بتغييرِ الأرقامِ السفليةِ بدلَ المُعاملات.



الشكل 2-5 عندَ إمرارِ التيّارِ الكهربائيِّ في الماء، بعد جعلِ الماءِ موصلاً بعضَ الشيء، تتحلَّلُ جزيئاتُ الماءِ لتعطيَ الهيدروجينَ (في الأنبوبِ الأيمن) والأكسجينَ (في الأنبوبِ الأيسر). وتدلُّ فقاقيعُ الغازِ المتصاعدةُ على حدوثِ التفاعل. لاحظْ أن حجمَ ما ينتجُ من الهيدروجينِ هو ضعفُ حجمِ ما ينتجُ من الأكسجين.

وتذكّرْ أن الأرقامَ السفليةَ لا يمكنُ إضافتُها أو إلغاؤُها أو تغييرُها. لا تنسَ مطلقًا المرحلةَ الأخيرةَ من وزنِ المعادلة، وهي عَدُّ الذرّاتِ في طرفيِ المعادلةِ للتأكدِ من توازنِها.

مسألةٌ نموذجية 2-3

ينتجُ عن تفاعلِ الخارصين مع محلولِ حمضِ الهيدروكلوريك محلولُ كلوريدِ الخارصين وغازُ الهيدروجين. يظهرُ هذا التفاعلُ في الشكل 2-6. اكتبِ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ لهذا التفاعل.

الحلّ

1 حلِّل اكتبْ أسماءَ المتفاعلاتِ والنواتج.

المتفاعلاتُ هي: حمضُ الهيدروكلوريك والخارصين

والنواتجُ هي: الهيدروجين وكلوريدُ الخارصين

2 خطِّط اكتبِ المعادلةَ بالصيغ.

$$Zn(s) + HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$ (غير موزونة)

3 احسب عدِّلِ المُعامِلات. نبدأ بموازنةِ الكلور لأنه يتحدُ مع عنصرٍ آخرَ كلَّ مرةٍ في طرفيِ المعادلة. تذكّرِ الإرشاداتِ السابقة (ص 55)، مسترجعًا أن الهيدروجين والأكسجين لا يوازَنانِ إلا بعد موازنةِ جميعِ عناصرِ التفاعلِ الأخرى. لموازنةِ الكلور نضعُ المعاملَ 2 أمامَ HCl. ويعطي جزيئا كلوريدِ الهيدروجين كذلك ذرّتَيِ الهيدروجينِ المطلوبتينِ في الطرفِ الأيمنِ من التفاعل. لاحظْ أخيرًا وجودَ ذرّةِ خارصين واحدةٍ في كلِّ طرفٍ من المعادلة. لذلك، أنت لا تحتاج إلى إضافةِ أيِّ معاملاتٍ أخرى.

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$

4 قيِّم عُدَّ الذرّاتِ للتأكدِ من الوزن.

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$
$$(1Zn) + (2H + 2Cl) = (1Zn + 2Cl) + (2H)$$

المعادلةُ إذنْ موزونة.

الشكل 2-6 يتفاعلُ الخارصينُ الصلبُ مع حمضِ الهيدروكلوريك ليَنتُجَ كلوريدُ الخارصين وغازُ الهيدروجين.

تمارينُ تطبيقية

1. اكتبِ المعادلاتِ الكيميائيةَ بالصيغِ ثم زنْها لكلٍّ من التفاعلاتِ التالية:

أ. يتفاعلُ المغنيسيوم وحمضُ الهيدروكلوريك ليعطيا كلوريدَ المغنيسيوم والهيدروجين.

ب. يتفاعلُ محلولُ حمضِ النيتريك مع هيدروكسيدِ المغنيسيوم الصلبِ ليَنتُجَ من التفاعلِ محلولُ نيتراتِ المغنيسيوم والماء.

الجواب

1. أ. بالصيغ:

$$Mg + HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$$

موزونة: $Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$

ب. بالصيغ:

$$HNO_3(aq) + Mg(OH)_2(s) \rightarrow Mg(NO_3)_2(aq) + H_2O(l)$$

موزونة: $2HNO_3(aq) + Mg(OH)_2(s) \rightarrow Mg(NO_3)_2(aq) + 2H_2O(l)$

مسألةٌ نموذجية 4-2

يتفاعلُ كربيدُ الألمنيوم الصلب Al_4C_3، مع الماءِ ليكوّنَ غازَ الميثان وهيدروكسيد الألمنيوم الصلب. اكتبِ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ لهذا التفاعل.

الحلّ

المتفاعلانِ هما كربيدُ الألمنيوم والماء. والناتجانُ هما الميثانُ وهيدروكسيدُ الألمنيوم. والمعادلةُ بالصيغِ تكتبُ كما يلي:

$$Al_4C_3(s) + H_2O(l) \rightarrow CH_4(g) + Al(OH)_3(s)$$ (غير موزونة)

ابدأ موازنةَ المعادلةِ بالصيغ بأن تُحددَ عددَ ذرّاتِ الألمنيوم أو ذرّاتِ الكربون. (تذكّرْ أن ذرّاتِ الهيدروجين والأكسجين توزَنُ لاحقًا.) في الطرفِ الأيسرِ من المعادلةِ يوجدُ أربعُ ذرّات Al. لكي توازنَ ذرّات الـ Al ضعِ المعاملَ 4 أمامَ $Al(OH)_3$.

$$Al_4C_3(s) + H_2O(l) \rightarrow CH_4(g) + 4Al(OH)_3(s)$$ (موزونة جزئيًّا)

والآن وازنْ ذرّاتِ الكربون. فمع وجودِ 3 ذرّات C في الطرفِ الأيسر، يلزمُ أن يوضعَ المعاملِ 3 أمام CH_4.

$$Al_4C_3(s) + H_2O(l) \rightarrow 3CH_4(g) + 4Al(OH)_3(s)$$ (موزونة جزئيًّا)

وازنْ ذرّاتِ الأكسجين لأن الأكسجين، على عكسِ الهيدروجين، يظهرُ مرةً واحدةً فقط في كلٍّ من طرفي المعادلة. يوجدُ ذرّةُ أكسجين O واحدة في الطرفِ الأيسر و 12 ذرّةَ أكسجين في صيغةِ $Al(OH)_3$ المضروبةِ في 4 في الطرفِ الأيمن. لذا فإن وضعَ المعاملِ 12 أمام H_2O يوازنُ ذرّاتِ الأكسجين O.

$$Al_4C_3(s) + 12H_2O(l) \rightarrow 3CH_4(g) + 4Al(OH)_3(s)$$

وفيما يتعلقُ بذرّاتِ الهيدروجين، هناك 24 ذرّةَ H في الطرفِ الأيسرِ من المعادلةِ و 12 ذرّةَ H في الطرفِ الأيمنِ ضمنَ جزيئاتِ الميثان و 12 ذرّة H في صيغةِ هيدروكسيدِ الألمنيوم. وهذا مجموعُهُ 24 ذرّة H، ومعناه أن ذرّاتِ الهيدروجين أصبحتْ موزونةً في طرفي المعادلةِ الكيميائية.

$$Al_4C_3(s) + 12H_2O(l) \rightarrow 3CH_4(g) + 4Al(OH)_3(s)$$

$$(4Al + 3C) + (24H + 12O) = (3C + 12H) + (4Al + 12H + 12O)$$

وبذلكَ تكونُ المعادلةُ موزونة.

مسألةٌ نموذجية 5-2

تُستخدَمُ كبريتاتُ الألمنيوم وهيدروكسيدُ الكالسيوم في عمليةِ تنقيةِ الماء. إذا أضيفتْ هاتانِ المادّتانِ إلى الماءِ تذوبانِ وتتفاعلانِ لتعطيا ناتجينِ غير ذائبينِ هما هيدروكسيدُ الألمنيوم وكبريتاتُ الكالسيوم. يركُدُ عادةً هذانِ الناتجانِ ليرسِّبا معهما الشوائبَ الصلبةَ العالقة. اكتبْ معادلةً كيميائيةً موزونةً لهذا التفاعل.

الحلّ

كلٌّ من المتفاعلينِ والناتجينِ في هذا التفاعلِ هو مركّب أيوني. استرجعْ ما تعلمتَهُ في الفصل 1 حول تحديدِ صيغِ المركّباتِ الأيونيةِ انطلاقًا من شحناتِ الأيوناتِ التي يتألفُ منها كلُّ مركّب. فتجدُ أن المعادلة الكيميائيةَ المطلوبة

تكتبُ على الشكلِ التالي:

$$Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Al(OH)_3 + CaSO_4$$ (غير موزونة)

وبما أن ذرّةً واحدةً من Ca توجدُ في كلٍّ من طرفي المعادلةِ تكونُ ذرّاتُ الكالسيوم موزونةً فعلاً. ونظرًا لوجودِ ذرّتَيْ Al في الطرفِ الأيسرِ وذرّةٍ واحدةٍ منه في الطرفِ الأيمن، فإن وضعَ المعاملِ 2 أمام $Al(OH)_3$ يعادلُ ذرّاتِ Al في طرفَي المعادلة.

$$Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + CaSO_4$$ (موزونةٌ جزئيًّا)

نحسبُ بعدئذٍ عددَ أيوناتِ SO_4^{2-} فنجدُ أن هناك ثلاثةَ أيوناتِ SO_4^{2-} في الطرفِ الأيسرِ من المعادلة، وأيونًا واحدًا في الطرفِ الأيمنِ منها. إذا وُضِعَ المعاملُ 3 قبل $CaSO_4$ تتساوى أيوناتُ SO_4^{2-} في طرفَي المعادلة.

$$Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4$$ (موزونةٌ جزئيًّا)

توجدُ ثلاثُ ذرّاتِ Ca في الطرفِ الأيمنِ من المعادلةِ وذرّةٌ واحدةٌ Ca في الطرفِ الأيسر. فإذا وضعْنا المعاملَ 3 أمام $Ca(OH)_2$ نحصلُ مرةً أخرى على عددٍ متساوٍ من ذرّاتِ Ca في طرفَي المعادلة. الخطوةُ الأخيرةُ تؤدي إلى وجودِ ستةِ أيوناتِ OH^- في كلِّ طرفٍ من المعادلة.

$$Al_2(SO_4)_3(aq) + 3Ca(OH)_2(aq) \rightarrow 2Al(OH)_3(s) + 3CaSO_4(s)$$

$$(2Al^{3+} + 3SO_4^{2-}) + 3(Ca^{2+} + 2OH^-) = 2(Al^{3+} + 3OH^-) + 3(Ca^{2+} + SO_4^{2-})$$

بذلك تكونُ المعادلةُ موزونة.

تمارينُ تطبيقية

1. اكتبِ المعادلاتِ الكيميائيةَ الموزونةَ لكلٍّ من التفاعلاتِ التالية:

أ. يتحدُ الصوديوم الصلبُ مع غازِ الكلورِ لينتُجَ من ذلك كلوريدُ الصوديوم الصلب.

ب. عند تفاعلِ النحاسِ الصلبِ مع محلولِ نيتراتِ الفضة يَنتُجُ محلولُ نيتراتِ النحاس (II) والفضةُ الصلبة.

ج. عند تفاعلِ أكسيدِ الحديدِ (III) الصلب في فرنٍ شديدِ الحرارةِ مع غازِ أُحادي أكسيدِ الكربون ينتجُ الحديدُ الصلبُ وغازُ ثُنائي أكسيدِ الكربون.

الجواب

1. أ. $2Na(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2NaCl(s)$

ب. $Cu(s) + 2AgNO_3(aq) \rightarrow Cu(NO_3)_2(aq) + 2Ag(s)$

ج. $Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$

مراجعةُ القسم 2-1

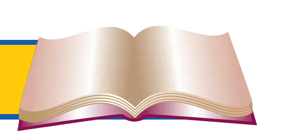
1. ما الفرقُ بين المعادلاتِ بالصيغِ والمعادلاتِ الكيميائية.

2. اكتبِ المعادلة بالصيغ للتفاعلِ الذي تتحدُ فيه المحاليلُ المائيةُ لحمضِ الكبريتيك وهيدروكسيدِ الصوديوم لتكوين كبريتاتِ الصوديوم والماء.

3. حوِّلِ المعادلاتِ الكيميائيةَ التاليةَ إلى جمل:

أ. $2K(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2KOH(aq) + H_2(g)$

ب. $2Fe(s) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2FeCl_3(s)$



قراءة علمية

لغزٌ كيميائي

من «مغامراتِ شارلك هولمز الكيميائية: كلبُ صيدِ هنري أرميتدج Henry Armitage»
لمؤلفَيْهِ طوماس ج. واديل، وطوماس ر. ريبولت في مجلة تعليمِ الكيمياء.

«كنتُ أعرفُه». لقد انهارَ الرجلُ الهرم. «لقد تسمم، أليس كذلك؟...»

... غيرَ أن هولمز لم يكنْ يسمع. وكان التقطَ عن الأرضِ إناءَ الكلبِ الذي أصبحَ الآن فارغًا. كان يشمُّ بعنفٍ بقايا كِسراتِ الخبزِ من الأكلِ السابق، وبشكلٍ غيرِ مختلفٍ عن كلبِ الصيدِ نفسِه...

بعد ساعةٍ كنتُ على كرسيٍّ في شارعِ بيكر 221B. وكان هولمز في مختبرِه، وكنتُ أكادُ أسمعُهُ يتمتم. وكان يُسمَعُ كالعادةِ من الجهةِ الخلفيةِ صليلُ وقعقعةُ أدواتِ المختبرِ... فجأةً ناداني هولمز.

«واتسون، تعالَ هنا، أنا بحاجةٍ إليك.»... وكتبَ بكلِّ هدوءٍ معادلةً على قصاصةٍ من ورقٍ ثم أعطانيها. «إذا كنتَ تستطيعُ أن توازنَ هذه المعادلةَ يا واتسون يمكنُك أن تحلَّ هذا اللغز». نظرتُ في الصفحةِ بكلِّ ما في وسعي ورأيتُ المعادلةَ التاليةَ التي ينقصُها بشكلٍ واضحٍ صيغةُ متفاعل.

$$C_6H_5NH_2 + 3KOH + \text{———} \rightarrow C_6H_5CN + 3KCl + 3H_2O$$

وكان هولمز يمشي بخطًى موزونةٍ ذهابًا وإيابًا واضعًا يديهِ الواحدةَ في الأخرى خلف ظهره. وكان يقول: «جزيءٌ من الأنيلين aniline وثلاثةُ جزيئاتٍ من هيدروكسيدِ البوتاسيوم وجزيءٌ من السمِّ المجهولِ تتحدُ مع بعضِها لتعطيَ جزيئًا واحدًا من فنيل الإيزوسيانيد وثلاثةَ جزيئاتٍ من كلوريدِ البوتاسيوم وثلاثةَ جزيئاتٍ من الماء. ويمكنُ تحديدُ هويةِ المتفاعلِ الناقصِ بأن تُوازَنَ المعادلةُ بالنسبةِ لجميعِ الذرّاتِ المشاركةِ فيها ليمكنَ اشتقاقُ الناتجِ، فنيل الإيزوسيانيد phenylisocyanide، عبر هذا التفاعل، من المتفاعلِ الكيميائيِّ الناقص، وهو السمُّ الذي دُسَّ عمدًا داخلَ طعامِ كلبِ الصيد».



أكدّتُ له قائلاً «يمكنُ أن أتبعكَ في جزءٍ من طريقتِك»، «وبدونِ أدنى شكٍّ أنتَ اكتشفتَ مادةً غريبةً في طعامِ الكلبِ بسببِ وجودِ رائحةٍ قويةٍ ومميزة».

أجابَ هولمز: «صحيح يا واتسون»، «وكأيِّ كيميائيِّ، أنا أعلمُ تمامًا أن السمَّ سريعُ التبخر... لاحظْنا أنّ المركّبَ يكونُ سائلاً ضمنَ حرارةِ الغرفة، وهو غيرُ قابلٍ للامتزاجِ مع الماء، وله كثافةٌ أكبرُ من 1.00 g/mL وحلاوتُهُ البغيضةُ كانت كذلك مفيدةً جدًّا...

لقد كوّنتُ فرضيةَ عملٍ وقمتُ بإجراءِ اختبارٍ كيميائيٍّ معروفٍ لهذا السائلِ السامّ. هل وازنْتَ المعادلةَ يا واتسون؟ إن المعادلةَ تؤكدُ ذلك».

«أستطيعُ أن أقومَ بهذا العمل، يا هولمز. أتذكَّرُ جيدًا هذا النوعَ من الكيمياء. دعني أرَ... فالمتفاعلُ الناقصُ يجبُ أن يحتويَ على الكلور... ثلاثِ وحداتٍ لتوازنَ Cl في الناتج».

«جيدٌ جدًّا يا واتسون، إبدأ بذلك».

«قد يكونُ أكثرَ تعقيدًا الآن ولكن انظرْ جيدًا، يوجدُ ذرّةُ كربونٍ واحدةٌ فائضةٌ في النواتج! أيكونُ المركَّب CCl_3؟»

«والكربون له أربعُ روابطَ يا واتسون وليس ثلاث»، قالَ هولمز بتجهُّم.

«وجدتُها! $CHCl_3$ توازنُ المعادلة! إنه الكلوروفورم يا هولمز! بكلِّ تأكيد، إنه متماسكٌ ومثبِّتٌ للمبدأ».

مطالعةٌ للفهم

هل تستطيعُ أن تستنتجَ معنى كلمةِ متطاير volatile من القصة؟ اكتبْ في الأسفلِ تعريفَكَ للمفردة. ثم قارنْ تعريفَك بتعريفٍ مأخوذٍ من معجمٍ علمي.

القسم 2-2

أنواعُ التفاعلاتِ الكيميائية

مؤشراتُ الأداء

- يعرِّفُ تفاعلاتِ الاتحاد، والانحلال، والاستبدالَ الأحادي، والاستبدالَ الثنائي.
- يصنِّفُ التفاعلاتِ إلى تفاعلاتِ اتحاد، وانحلال، واستبدالٍ أحادي، واستبدالٍ ثنائي، واحتراق.
- يصنِّفُ تفاعلاتِ الاتحادِ وتفاعلاتِ الانحلالِ إلى أنواعِها المختلفة.
- يصنِّفُ تفاعلاتِ الاستبدالِ إلى أنواعِها المختلفة.
- يتوقَّعُ نواتجَ تفاعلاتٍ بسيطةٍ من معرفةِ الموادِّ المتفاعلة.

تحدث الآلافُ من التفاعلاتِ الكيميائيةِ المعروفةِ في الأنظمةِ الحياتية، والعملياتِ الصناعية، وفي المختبراتِ الكيميائية. وغالبًا ما يكونُ ضروريًّا توقُّعُ النواتجِ التي تتكوَّنُ في هذه التفاعلات. إن تذكُّرَ معادلاتٍ بهذا الكَمِّ الهائلِ من التفاعلات، يعتبرُ عملاً شاقًّا بل مضنيًا. لذلك يكونُ من الأجدى والأكثرِ واقعيةً أن تُصنَّفَ التفاعلاتُ حسبَ كيفيةِ حدوثِها. ثم تُستخدَمُ المعلوماتُ العامةُ حولَ أنواعِ التفاعلاتِ هذه في توقُّعِ نواتجِها.

وتصنَّفُ التفاعلاتُ الكيميائيةُ في هذا القسمِ إلى خمسةِ أنواعٍ أساسيةٍ، هي: تفاعلاتُ الاتحاد، والانحلال، والاستبدالِ الأحادي، والاستبدالِ الثنائي، والاحتراق.

تفاعلاتُ الاتحاد

في تفاعلِ الاتحاد **synthesis reaction**، (تفاعل التكوين **composition reaction**)، ***تتحدُ مادّتانِ أو أكثرُ لتكوينِ مركّبٍ جديد.*** يتمثَّلُ هذا النوعُ من التفاعلاتِ بالمعادلةِ العامةِ التالية:

$$A + X \longrightarrow AX$$

A و X يمكنُ أن يكونا عنصرينِ أو مركّبين، و AX هو مركّب. والأمثلةُ التاليةُ توضحُ عدةَ أنواعٍ من تفاعلاتِ الاتحاد.

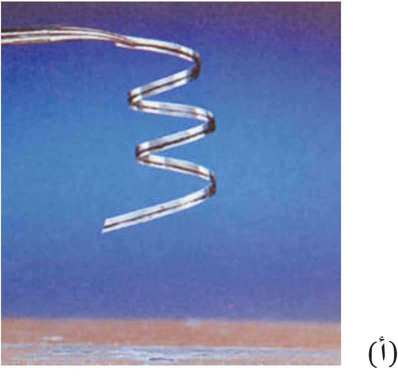
تفاعلاتُ العناصرِ مع الأكسجينِ والكبريت

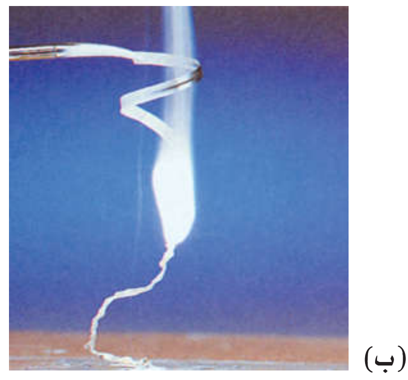
من نماذجِ تفاعلاتِ الاتحادِ البسيطةِ اتحادُ أيِّ عنصرٍ مع الأكسجين لتكوينِ أكسيدِ هذا العنصر. الفلزّاتُ جميعُها، تقريبًا، تتحدُ مع الأكسجين لتعطيَ أكاسيد. عندما تشعلُ شريطًا رفيعًا من المغنيسيوم فإنه يحترقُ ليعطيَ ضوءًا أبيضَ برّاقًا. وعندما يحترقُ الشريطُ تمامًا يبقى منه مسحوقٌ ناعمٌ أبيضُ اللون، هو أكسيدُ المغنيسيوم. ويتمثَّلُ هذا التفاعلُ الكيميائيُّ في الشكل 2-7 بالمعادلةِ التالية:

$$2Mg(s) + O_2(g) \longrightarrow 2MgO(s)$$

وتتفاعلُ باقي عناصرِ المجموعةِ 2 من الجدولِ الدوريِّ بالطريقةِ نفسِها، لتُكوِّنَ أكاسيدَ صيغتُها العامةُ MO، والرمز M يمثِّلُ الفلزّ. تعطي فلزاتُ المجموعة 1 أكاسيدَ صيغتُها M_2O مثل Li_2O أو Na_2O أو K_2O. وكذلكَ تتفاعلُ عناصرُ المجموعتين 1 و 2 مع الكبريتِ بشكلٍ مشابهٍ لتكوِّنَ كبريتيدين صيغتَاهُما على التوالي M_2S و MS. وفيما يلي أمثلةٌ على هذه الأنواعِ من تفاعلاتِ الاتحاد:

$$16Na(s) + S_8(s) \longrightarrow 8Na_2S(s)$$
$$8Ca(s) + S_8(s) \longrightarrow 8CaS(s)$$


(أ)


(ب)

الشكل 7-2 شريطُ المغنيسيوم Mg الذي يظهرُ في الشكل (أ) يتحد، في الشكل (ب)، مع الأكسجين O_2 ليكوِّنَ أكسيدَ المغنيسيوم MgO.



بعضُ الفِلِزّاتِ كالحديد، تتّحدُ مع الأكسجين لتعطيَ أكسيدَيْنِ مختلفين:

$$2Fe(s) + O_2(g) \rightarrow 2FeO(s)$$
$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s)$$

يظهرُ في ناتجِ التفاعلِ الأولِ أن حالةَ الأكسدةِ للحديدِ في FeO هي 2+. أما في ناتجِ التفاعلِ الثاني Fe_2O_3 فإنَّ حالةَ أكسدةِ الحديدِ هي 3+. ويوضحُ الشكل 2-8 كلاًّ من هذين الأكسيدين.

يمكنُ للافِلِزّاتِ أن تدخلَ في تفاعلاتِ اتحادٍ مع الأكسجين لتكوّنَ أكاسيدَ اللافلزّات. فالكبريت، مثلاً، يتفاعلُ مع الأكسجينِ ليعطيا ثانيَ أكسيدِ الكبريت. وكذلك عندما يحترقُ الكربونُ في الهواءِ فإنَّه يُنتِجُ ثانيَ أكسيدِ الكربون.

$$S_8(s) + 8O_2(g) \rightarrow 8SO_2(g)$$
$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

وفي حالةِ وجودِ كميَّةٍ محدودةٍ من الأكسجين يتكوّنُ أولُ أكسيدِ الكربون، كما في المعادلةِ التالية:

$$2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$$

ويتفاعلُ الهيدروجينُ مع الأكسجين لتكوينِ الماء.

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$



(أ)



(ب)

الشكل 2-8 يتَّحدُ الحديدُ Fe مع الأكسجين O_2 ليكوِّنا أكسيدينِ مختلفيْنِ هما (أ) أكسيدُ الحديد (II)، FeO، و(ب) أكسيدُ الحديدِ (III)، Fe_2O_3.

تفاعلاتُ الفلزّاتِ مع الهالوجينات

تتفاعلُ معظمُ الفلزّاتِ مع عناصرِ المجموعةِ 17، المعروفةِ باسمِ الهالوجينات، لتكوينِ مركّباتٍ تساهميةٍ أو أيونية. فعلى سبيلِ المثال، تتفاعلُ فلزّاتُ المجموعةِ 1 مع الهالوجيناتِ لتكوّنَ مركّباتٍ أيونية MX، حيث M تمثّلُ الفلزّ و X تمثّلُ الهالوجين. والأمثلةُ على هذا النوعِ من تفاعلاتِ الاتحادِ تتضمّنُ تفاعلاتِ الصوديومِ مع الكلور والبوتاسيوم مع اليود.

$$2Na(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2NaCl(s)$$
$$2K(s) + I_2(g) \rightarrow 2KI(s)$$

أما فلزّاتُ المجموعةِ 2 فتتفاعلُ مع الهالوجيناتِ لتكوّنَ مركّباتٍ أيونيةً صيغتُها MX_2.

$$Mg(s) + F_2(g) \rightarrow MgF_2(s)$$
$$Sr(s) + Br_2(l) \rightarrow SrBr_2(s)$$

وتدخلُ الهالوجيناتُ في تفاعلاتِ اتحادٍ مع كثيرٍ من الفلزّات. فالفلور يتَّحدُ مع جميعِ الفلزّاتِ تقريبًا لكونه نشطًا جدًّا. فهو يتفاعلُ مثلاً مع الصوديوم ليعطيَ فلوريدَ الصوديوم، ومع اليورانيوم ليكوِّنَ فلوريد اليورانيوم (VI).

$$2Na(s) + F_2(g) \rightarrow 2NaF(s)$$
$$U(s) + 3F_2(g) \rightarrow UF_6(g)$$

يضافُ فلوريدُ الصوديوم NaF، إلى مياهِ الشربِ بكميّاتٍ ضئيلةٍ جدًّا، فيزوِّدُها بأيوناتِ الفلوريد، التي تساعدُ في وقايةِ الأسنانِ من التسوُّس. أما اليورانيومُ الطبيعيُّ فيحوَّلُ إلى فلوريدِ اليورانيوم (VI)، UF_6، كخطوةٍ أولى في إنتاجِ اليورانيومِ المستعملِ في توليدِ الطاقةِ النووية.

تفاعلاتُ الاتحادِ مع الأكاسيد

إنَّ الفلزّاتِ النشطةَ هي التي تتفاعلُ بشدَّة. فأكاسيدُ الفلزّاتِ النشطةِ تتفاعلُ مع الماءِ لتعطيَ هيدروكسيداتِ الفلزّات. فأكسيدُ الكالسيوم، مثلاً، يتفاعلُ مع الماءِ ليعطيَ هيدروكسيدَ الكالسيوم، الذي هو أحدُ المركّباتِ المستخدمةِ كمضادٍّ لحموضةِ المعدة.

$$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(s)$$

وهناك الكثيرُ من أكاسيدِ اللافلزّاتِ (الواقعةِ في أعلى يمينِ الجدولِ الدوري) التي تتفاعلُ مع الماءِ لتعطيَ الأحماضَ الأكسجينية. فثاني أكسيدِ الكبريت، SO_2، مثلاً، يتفاعلُ مع الماءِ ليعطيَ حمضَ الكبريتوز.

$$SO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_3(aq)$$

ويتفاعلُ حمضُ الكبريتوز بدورِهِ مع الأكسجين ليكوِّنا حمضَ الكبريتيك، أحدَ أهمِّ مكوِّناتِ مياهِ الأمطارِ الحمضية.

$$2H_2SO_3(aq) + O_2(g) \rightarrow 2H_2SO_4(aq)$$

وقد تتفاعلُ بعضُ أكاسيدِ الفلزّاتِ واللافلزّاتِ الواحدَ مع الآخرِ تفاعلاتِ اتحادٍ لتكوِّنَ أملاحًا. فعلى سبيلِ المثال، يتكوَّنُ كبريتيتُ الكالسيوم من تفاعلِ أكسيدِ الكالسيوم مع ثاني أكسيدِ الكبريت.

$$CaO(s) + SO_2(g) \rightarrow CaSO_3(s)$$



الشكل 2-9 يمكنُ لهيدروكسيدِ الكالسيوم، وهو قاعدة، أن يُستخدَمَ لمعادلةِ حمضِ الهيدروكلوريك في المعدة.

تفاعلاتُ الانحلال (التفكك)

في **تفاعل الانحلال decomposition reaction** ***يخضعُ مركّبٌ واحدٌ لتفاعل يَنتُجُ عنه مادّتان، أو أكثر، أبسطُ تركيبًا.*** وتعتبرُ تفاعلاتُ الانحلالِ نقيضَ تفاعلاتِ الاتحاد. وهي تتمثَّلُ بالمعادلةِ العامةِ التالية.

$$AX \rightarrow A + X$$

حيث AX يمثِّلُ مركّبًا، و A و X يمثِّلانِ عنصرين أو مركّبَيْن.

إنَّ كثيرًا من تفاعلاتِ الانحلالِ يلزمُ لحدوثِها إضافةُ طاقةٍ كهربائيةٍ أو طاقةٍ حرارية. وفيما يلي بعضُ الأمثلةِ والنماذجِ على تفاعلاتِ الانحلال.



الشكل 2-10 عندما يُسخَّنُ أكسيدُ الزئبقِ (II) (وهو المادّةُ البرتقاليةُ الموجودةُ في أسفلِ أنبوبةِ الاختبار) يتفككُ إلى أكسجين وفلزِّ الزئبقِ الذي يمكنُ رؤيتُهُ على شكلِ قطيراتٍ متجمِّعةٍ على الجدارِ الداخليِّ لأنبوبةِ الاختبار.

انحلالُ المركّباتِ الثنائية (ثنائية العنصر)

أبسطُ أنواعِ تفاعلاتِ الانحلالِ هو انحلالُ مركّبٍ معينٍ إلى عناصرِه كتفككِ الماءِ عند مرورِ التيّارِ الكهربائيِّ فيه إلى عنصريهِ، الهيدروجين والأكسجين.

$$2H_2O(l) \xrightarrow{\text{كهرباء}} 2H_2(g) + O_2(g)$$

يُطلَقُ على تفكُّكِ مادّةٍ معيَّنةٍ بالتيّارِ الكهربائيِّ اسمَ تحليل كهربائي **electrolysis.**

أما أكاسيدُ الفلزّاتِ الأقلِّ نشاطيةً، التي تقعُ في أسفلِ وسطِ الجدولِ الدوري، فإنها تتفككُ إلى عناصرِها بالتسخين. فقد اكتشفَ جوزيف بريستلي، عام 1774، الأكسجينَ عبرَ تفككِ أكسيدِ الزئبقِ (II) بالحرارةِ، وبذلك نحصلُ على الزئبقِ والأكسجين.

$$2HgO(s) \xrightarrow{\Delta} 2Hg(l) + O_2(g)$$

هذا التفاعلُ يوضحُهُ الشكل 2-10.

انحلالُ كربوناتِ الفلزّات

عندما تسخَّنُ كربوناتُ فلزٍّ معيَّنٍ فإنّه يتفكَّكُ ليعطيَ أكسيدَ الفلزِّ وغازَ ثاني أكسيدِ الكربون. فعند تفكُّكِ كربوناتِ الكالسيوم بالحرارةِ ينتُجُ أكسيدُ الكالسيوم وثاني أكسيدِ الكربون.

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$$

انحلالُ هيدروكسيداتِ الفلزّات

جميعُ هيدروكسيداتِ الفلزّاتِ (عدا فلزّاتِ المجموعةِ الأولى) تتفكَّكُ بالحرارةِ لينتُجَ أكسيدُ الفلزِّ والماء. هكذا يتفككُ هيدروكسيدُ الكالسيوم، ليعطيَ أكسيدَ الكالسيوم والماء.

$$Ca(OH)_2(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + H_2O(g)$$

انحلالُ كلوراتِ الفلزّات

بالطريقةِ نفسِها تتفككُ كلوراتُ الفلزِّ بالحرارةِ لتعطيَ كلوريدَ الفلزِّ والأكسجين. وهكذا تتفككُ كلوراتُ البوتاسيوم $KClO_3$، في وجودِ الحفّازِ $MnO_2(s)$، لتعطيَ كلوريدَ البوتاسيوم والأكسجين.

$$2KClO_3(s) \xrightarrow[MnO_2(s)]{\Delta} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

انحلالُ الأحماض

تتفككُ بعضُ الأحماضِ إلى أكاسيدَ لافلزيةٍ وماء. فحمضُ الكربونيك غيرُ مستقرّ، فهو يتفككُ على الفورِ عند درجةِ حرارةِ الغرفةِ ليعطيَ ثانيَ أكسيدِ الكربون والماء.

$$H_2CO_3(aq) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$$

تفاعلاتُ الاستبدالِ الأحادي

في تفاعلِ الاستبدالِ الأحادي single replacement reaction، *المعروفِ أيضًا بتفاعلِ الإزاحة* displacement reaction، *يُستبدَلُ، في مركَّبٍ معيَّن، عنصرٌ واحدٌ بعنصرٍ آخَرَ مشابه.* وقد يحدُثُ الكثيرُ من هذه التفاعلاتِ في المحلولِ المائي. إنَّ كميَّةَ الطاقةِ المشاركةِ في هذا النوعِ من التفاعلِ هي أقلُّ من الطاقةِ التي تدخلُ في تفاعلاتِ الاتحادِ أو الانحلال. ويمكنُ تمثيلُ تفاعلاتِ الاستبدالِ الأحاديِّ بالمعادلاتِ العامةِ التالية:

$$A + BX \rightarrow AX + B$$

أو

$$Y + BX \rightarrow BY + X$$

حيث A و B و X و Y هي عناصر، و AX و BX و BY هي مركّبات.

الشكل 11-2 في تفاعلِ الاستبدالِ الأحاديِّ هذا حلَّ فلزُّ المغنيسيوم Mg محلَّ الهيدروجينِ الموجودِ في حمضِ الهيدروكلوريك HCl.

استبدالُ فلزٍّ في مركّبٍ بفلزٍّ آخر

يعتبرُ الألمنيوم أكثرَ نشاطيةً من الرصاص. فإذا وُضعَ ألمنيوم صلبٌ في محلولِ نيتراتِ الرصاص (II)، $Pb(NO_3)_2(aq)$، يحدُثُ تفاعلٌ يحلُّ فيه الألمنيوم محلَّ الرصاص، ويتكوَّنُ رصاصٌ صلبٌ ومحلولُ نيتراتِ الألمنيوم.

$$2Al(s) + 3Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow 3Pb(s) + 2Al(NO_3)_3(aq)$$

استبدالُ الفلزِّ بهيدروجين الماء

تتفاعلُ الفلزّاتُ الأكثرُ نشاطية، كتلك التي في المجموعةِ 1، بشدةٍ مع الماءِ لتعطيَ هيدروكسيداتِ الفلزاتِ والهيدروجين. فالصوديوم مثلاً يتفاعلُ مع الماءِ ليكوِّنَ هيدروكسيدَ الصوديوم وغازَ الهيدروجين.

$$2Na(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2NaOH(aq) + H_2(g)$$

أما الفلزّاتُ الأقلُّ نشاطية، كالحديدِ مثلاً، فتتفاعلُ مع بخارِ الماءِ لتعطيَ أكسيدَ الفلزِّ وغازَ الهيدروجين.

$$3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightarrow Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$$

استبدالُ الفلزِّ بهيدروجين الحمض

تتفاعلُ أكثرُ الفلزّاتِ نشاطًا مع بعضِ المحاليلِ الحمضية، كحمضِ الهيدروكلوريك وحمضِ الكبريتيك المخفَّف، فتحلُّ محلَّ الهيدروجينِ في الحمض، وتعطي ملحَ الفلزِّ وغازَ الهيدروجين. فعندما يتفاعلُ المغنيسيومُ الصلبُ مع حمضِ الهيدروكلوريك، كما في الشكل 11-2، ينتجُ غازُ الهيدروجين ومحلولُ كلوريدِ المغنيسيوم.

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow H_2(g) + MgCl_2(aq)$$

استبدالُ الهالوجينات

وفي نوعٍ آخر من تفاعلاتِ الاستبدالِ الأحاديِّ يحلُّ أحدُ الهالوجيناتِ محلَّ هالوجينٍ آخرَ في مركّبٍ معيَّن. فالفلورُ الذي هو أكثرُ الهالوجيناتِ نشاطًا يمكنُهُ أن يحلَّ محلَّ أيِّ هالوجينٍ آخر في المركّباتِ التي تحتوي على هالوجينات. يقلُّ نشاطُ الهالوجينِ كلما اتجهْنا إلى أسفلِ المجموعةِ 17. لذلك يمكنُ لأيِّ عنصرٍ من المجموعةِ 17 أن يحلَّ محلَّ أيِّ عنصرٍ يقعُ تحتَه. فمثلاً، في حينِ يحلُّ الكلور محلَّ البروم في بروميدِ البوتاسيوم فإنه لا يحلُّ محلَّ الفلورِ في فلوريدِ البوتاسيوم. إن تفاعلَ الكلورِ مع بروميدِ البوتاسيوم يعطي البرومَ وكلوريدَ البوتاسيوم، وأما تفاعلُ الفلورِ مع كلوريدِ الصوديوم فيعطي فلوريدَ الصوديوم وغازَ الكلور.

$$Cl_2(g) + 2KBr(aq) \rightarrow 2KCl(aq) + Br_2(l)$$

$$F_2(g) + 2NaCl(aq) \rightarrow 2NaF(aq) + Cl_2(g)$$

$$Br_2(l) + KCl(aq) \rightarrow \text{لا تفاعل}$$

تفاعلاتُ الاستبدالِ الثنائيّ (المزدوج)

في **تفاعلاتِ الاستبدالِ الثنائيِّ double replacement reactions**، ***تتبادلُ أيوناتُ مركّبين فيما بينهما في محلولٍ مائيّ، لتكوين مركّبَيْن جديدَيْن.*** ويكونُ أحدُ هذين المركّبيْن في الأغلبِ راسبًا، أو غازًا غيرَ ذائب، فيتصاعدُ خارج المحلول، أو مركّبًا جزيئيًّا هو في الأغلبِ ماء. ويكونُ المركّبُ الثاني في أكثرِ الأحيانِ قابلاً للذوبانِ ويبقى ذائبًا في المحلول. ويُعبّرُ عن تفاعلاتِ الاستبدالِ الثنائيِّ بالمعادلةِ العامةِ التالية:

$$AX + BY \rightarrow AY + BX$$

حيث A و X و B و Y تمثّلُ أيوناتٍ في المتفاعلين، و AY و BX يمثلانِ مركّبينِ أيونيينِ أو جزيئيين.

تكوينُ راسب

يتكوّنُ الراسبُ عند اتحادِ كاتيوناتٍ (أيونات موجبة) لمتفاعل معيّن مع أنيوناتٍ (أيونات سالبة) لمتفاعلٍ آخرَ لتكوين مركّبٍ قليلِ الذوبانِ أو غيرِ ذائب. فإذا أضفْنا، مثلاً، محلولاً مائيًّا من يوديدِ البوتاسيوم إلى محلولٍ مائيٍّ من نيتراتِ الرصاص (II) فإننا نحصُلُ على راسبٍ أصفرَ من يوديدِ الرصاص (II). وهذا ما يبيّنُهُ الشكل 2-12.

$$2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$$

يتكوّنُ هذا الراسبُ نتيجةَ قوى التجاذبِ الشديدِ جدًّا بين الكاتيونات Pb^{2+} وأنيونات I^-. والناتجُ الآخرُ هو ملحُ نيتراتِ البوتاسيوم KNO_3، الذي يذوبُ في الماء. وتبقى أيوناتُ البوتاسيوم والنيتراتُ في المحلولِ المائيِّ على شكلِ أيونات.



الشكل 2-12 إن تفاعلَ الاستبدالِ الثنائيِّ بين محلولِ نيتراتِ الرصاص (II)، $Pb(NO_3)_2(aq)$، ومحلولِ يوديدِ البوتاسيوم $KI(aq)$، يعطي راسبَ يوديدِ الرصاص (II)، $PbI_2(s)$، ومحلولَ نيتراتِ البوتاسيوم $KNO_3(aq)$.

تكوينُ غاز

في بعضِ تفاعلاتِ الاستبدالِ الثنائيّ، قد يكونُ أحدُ النواتجِ غازًا غيرَ قابلٍ للذوبان، فيتصاعدُ خارجَ المزيجِ على شكلِ فقاقيعَ غازية. فعند تفاعلِ كبريتيدَ الحديد (II) مع حمضِ الهيدروكلوريك يتكوّنُ غازُ كبريتيدِ الهيدروجين وكلوريدُ الحديد (II).

$$FeS(s) + 2HCl(aq) \rightarrow H_2S(g) + FeCl_2(aq)$$

تكوُّنُ الماء

في بعضِ تفاعلاتِ الاستبدالِ الثنائيّ، قد يكونُ أحدُ النواتجِ مركّبًا جزيئيًّا مستقرًّا، كالماءِ مثلاً. فعند تفاعلِ حمضِ الهيدروكلوريك مع محلولٍ مائيٍّ لهيدروكسيدِ الصوديوم يتكوَّنُ كلوريدُ الصوديوم والماء.

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

تفاعلاتُ الاحتراق

في تفاعل الاحتراق **combustion reaction** ***تتّحدُ مادةٌ محدَّدةٌ مع الأكسجينِ محرِّرةً كميةً كبيرةً من الطاقةِ على شكلِ ضوءٍ وحرارة.*** يُظهرُ الشكل 2-13 احتراقَ الهيدروجين، وهو التفاعلُ الذي يُنتِجُ بخارَ الماء.

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$

وهناكَ أمثلةٌ كثيرةٌ على تفاعلاتِ الاحتراق، كاشتعالِ الغازِ الطبيعيِّ والبروبان والجازولين والخشب. فعلى سبيلِ المثال، ينتجُ عن اشتعالِ البروبان C_3H_8 ثاني أكسيدِ الكربون وبخارُ الماء.

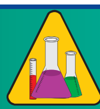
$$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

(أ)



(ب)

الشكل 2-13 (أ) تعطي الشمعةُ المشتعلةُ حرارةً للهيدروجينِ والأكسجينِ الموجودينِ في البالون، فيحدثُ تفاعلُ احتراقٍ متفجّرٍ كما يظهرُ في (ب).



نشاط عملي سريع

استخدامُ النماذجِ في موازنةِ المعادلاتِ الكيميائية

ضعِ النظاراتِ الواقيةَ وارتدِ المريول




المواد

- النماذجُ البلاستيكيةُ (الكراتُ والعيدان) مختلفةُ الألوان (هي أربعةُ ألوانٍ على الأقلّ)

السؤال

كيفَ يمكنُكَ توظيفُ النماذجِ الجزيئيةِ ونماذجِ وحدةِ الصيغةِ الأيونيةِ لموازنةِ المعادلاتِ الكيميائية، وتصنيفِ التفاعلاتِ الكيميائية؟

الطريقة

تفحص، في ما يلي، المعادلاتِ غيرَ المكتملة في المجموعاتِ 1-5، ثم استخدم النماذجَ البلاستيكيةَ ذاتَ الألوانِ المختلفةِ لتمثيلِ ذرّاتِ العناصرِ المختلفةِ وتكوينِ نماذجَ للتفاعلاتِ من خلالِ وصلِ الذرّاتِ المعيّنة بواسطةِ العيدان. وظِّفْ هذه النماذجَ في: (1) موازنةِ المعادلتين أ ثم ب في كلِّ مجموعة، (2) تحديدِ نواتجِ التفاعل ج في كلِّ مجموعة، (3) إكمالِ وموازنةِ كلِّ معادلة ج، (4) تصنيفِ كلِّ مجموعةٍ من التفاعلاتِ حسبَ نوعِها.

المجموعة 1

أ. $H_2 + Cl_2 \rightarrow HCl$

ب. $Mg + O_2 \rightarrow MgO$

ج. $BaO + H_2O \rightarrow$ ______

المجموعة 2

أ. $H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$

ب. $KClO_3 \rightarrow KCl + O_2$

ج. $H_2O \xrightarrow{\text{كهرباء}}$ ______

المجموعة 3

أ. $Ca + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2$

ب. $KI + Br_2 \rightarrow KBr + I_2$

ج. $Zn + HCl \rightarrow$ ______

المجموعة 4

أ. $AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl + NaNO_3$

ب. $FeS + HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2S$

ج. $H_2SO_4 + KOH \rightarrow$ ______

المجموعة 5

أ. $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

ب. $CO + O_2 \rightarrow CO_2$

ج. $C_3H_8 + O_2 \rightarrow$ ______

مراجعةُ القسم 2-2

1. اذكرْ خمسةَ أنواعٍ من التفاعلاتِ الكيميائية.

2. في ضوءِ دراستِكَ لأنواعِ التفاعلاتِ الكيميائية، صنِّفْ كلاً من التفاعلاتِ التالية:

أ. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

ب. $2Li(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2LiOH(aq) + H_2(g)$

ج. $2NaNO_3(s) \rightarrow 2NaNO_2(s) + O_2(g)$

د. $2C_6H_{14}(l) + 19O_2(g) \rightarrow 12CO_2(g) + 14H_2O(l)$

هـ. $NH_4Cl(s) \rightarrow NH_3(g) + HCl(g)$

و. $BaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ba(OH)_2(aq)$

ز. $AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

3. حدِّدْ في كلٍّ من التفاعلاتِ التاليةِ هويّةَ المتفاعلاتِ أو النواتجِ الناقصة، ثم وازنِ المعادلةَ الناتجة. لاحظْ أنّ كلَّ فراغٍ يتطلّبُ مادةً أو أكثر.

أ. اتحاد: $______ \rightarrow Li_2O$

ب. تفكك: $Mg(ClO_3)_2 \rightarrow$ ______

ج. استبدالٌ أحادي: $Na + H_2O \rightarrow$ ______

د. استبدالٌ ثنائي: $HNO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow$ ______

هـ. احتراق: $C_5H_{12} + O_2 \rightarrow$ ______

4. اكتبِ النواتجَ المتوقعةَ لكلٍّ من التفاعلاتِ التاليةِ ثم زنِ المعادلةَ الناتجةَ وحدِّدْ نوعَ كلِّ تفاعل.

أ. $Br_2 + KI \rightarrow$ ______

ب. $Zn + HCl \rightarrow$ ______

ج. $Ca + Cl_2 \rightarrow$ ______

د. $NaClO_3 \xrightarrow{\Delta}$ ______

هـ. $C_7H_{14} + O_2 \rightarrow$ ______

و. $CuCl_2 + Na_2S \rightarrow$ ______

القســــم 3-2

مؤشراتُ الأداء

- يوضحُ كيف يتمُّ بناءُ سلسلةِ نشاطيةِ العناصر.
- يوظِّفُ سلسلةَ النشاطيةِ في توقُّعِ إمكانيةِ حدوثِ تفاعلٍ معيّن.

سلسلةُ نشاطيةِ العناصر

تسمّى قابليةُ أيِّ عنصرٍ للتفاعلِ نشاطيةَ هذا العنصر. وكلّما تفاعلَ العنصرُ بسرعةٍ وسهولةٍ مع بقيةِ الموادِّ كلّما اعتُبِرَ أكثرَ نشاطية. أما **سلسلةُ النشاطيةِ activity series** ***فهي قائمةٌ بالعناصرِ مرتّبةً تبعًا لدرجةِ سهولةِ دخولها في بعضِ التفاعلاتِ الكيميائية.*** «النشاطيةُ الأكثرُ» بالنسبةِ للفلزاتِ تعني السهولةَ الأكثرَ في فقْدِ الإلكتروناتِ وتكوينِ الأيوناتِ الموجبة. أما بالنسبةِ للافلزاتِ فإن النشاطيةَ تكونُ أكبرَ كلّما كانت أكثرَ قدرةً على كسبِ الإلكتروناتِ وتكوينِ أيوناتٍ سالبة.

تُحدِّدُ غالبًا المنزلةُ أو الرتبةُ التي تحتلُّها العناصرُ في قائمةِ سلسلةِ النشاطيةِ مدى تفاعلاتِ الاستبدالِ الأحاديّ. وهكذا فإن العنصرَ الأكثرَ نشاطية، والذي يوضعُ في أعلى السلسلة، يمكنُ أن يحلَّ محلَّ العناصرِ الموجودةِ تحتَهُ في المركّبِ المشتركِ في تفاعلِ الاستبدالِ الأحادي. ويمكنُ لأيِّ عنصرٍ يقعُ في القائمةِ أن يحلَّ محلَّ عنصرٍ آخرَ موجودٍ تحتَه، ولكن لا يمكنُ له أن يحلَّ محلَّ أيِّ عنصرٍ فوقَه.

تُستخدَمُ سلسلةُ النشاطيةِ للمساعدةِ على توقُّعِ حدوثِ أو عدمِ حدوثِ بعضِ التفاعلات. على سبيلِ المثال، ووفقًا لسلسةِ النشاطيةِ للفلزاتِ في الجدول 3-2، يحلُّ الألمنيوم محلَّ الخارصين في التفاعلات. وهكذا، فإنه يمكنُ توقُّعُ حدوثِ التفاعلِ التالي:

$$2Al(s) + 3ZnCl_2(aq) \rightarrow 3Zn(s) + 2AlCl_3(aq)$$

من جهةٍ ثانية، لا يمكنُ للكوبالتِ أن يحلَّ محلَّ الصوديوم، لذا يمكنُ توقُّعُ نتيجةِ التفاعلِ التالي:

$$Co(s) + 2NaCl(aq) \rightarrow \text{لا تفاعل}$$

من المهمِّ أن نتذكّرَ أن سلسلةَ النشاطيةِ كغيرِها من الوسائلِ المساعدةِ في توقُّعِ نتيجةِ تفاعلٍ كيميائي، ترتكزُ أساسًا على التجربة. والمعلوماتُ التي تحتويها تُستعمَلُ كمرشدٍ عامٍّ فقط لتوقُّعِ نتائجِ التفاعلات. على سبيلِ المثال، إن سلسلةَ النشاطيةِ توضحُ كيفَ أن بعضَ الفلزاتِ (كالبوتاسيوم مثلاً) تتفاعلُ بشدَّةٍ مع الماءِ والأحماضِ مستبدلةً بذلك الهيدروجينَ لتتكوَّنَ مركّباتٌ جديدة. وإن بعضَ الفلزاتِ الأخرى كالحديدِ والخارصين تحلُّ محلَّ الهيدروجينِ في الأحماضِ (كحمضِ الهيدروكلوريك)، غير أنها لا تتفاعلُ مع الماءِ إلاّ إذا كان ساخنًا إلى درجةِ التبخير. من جهةٍ أخرى، يحلُّ النيكل محلَّ الهيدروجين في الأحماض، لكنه لا يتفاعلُ مطلقًا مع بخارِ الماء. أما الذهبُ فإنه لا يتفاعلُ مع الأحماض، ولا مع الماءِ لا سائلاً ولا بخارًا. إن هذه الملاحظاتِ التجريبيةَ تشكِّلُ القاعدةَ الأساسيةَ لسلسلةِ النشاطيةِ التي يوضحُها الجدولُ 3-2.

الجدول 3-2 سلسلةُ نشاطيةِ العناصر

نشاطيةُ الفلزات		نشاطيةُ اللافلزاتِ الهالوجينية
Li Rb K Ba Sr Ca Na	تتفاعلُ مع الماءِ الباردِ والأحماضِ وتُستبدلُ بالهيدروجين. وتتفاعلُ مع الأكسجينِ لتعطيَ الأكاسيد.	F_2 Cl_2 Br_2 I_2
Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd	تتفاعلُ مع بخارِ الماءِ الساخن (لا مع الماءِ البارد) وتتفاعلُ مع الأحماض، وتُستبدلُ بالهيدروجين وتتفاعلُ مع الأكسجين لتكوِّنَ الأكاسيد.	
Co Ni Sn Pb	لا تتفاعلُ مع الماءِ، لكنها تتفاعلُ مع الأحماض، وتُستبدلُ بالهيدروجين. وتتفاعلُ مع الأكسجين لتعطيَ الأكاسيد.	
H_2 Sb Bi Cu Hg	تتفاعلُ مع الأكسجين لتكوّنَ الأكاسيد.	
Ag Pt Au	قليلةُ النشاطية، لكنها تكوِّنُ الأكاسيدَ بطريقةٍ غيرِ مباشرة.	

مسألةٌ نموذجية 6-2

استخدمْ سلسلةَ النشاطيةِ في الجدول 2-3، وتوقَّعْ أيًّا من التفاعلاتِ التاليةِ يمكنُ حدوثُه، ثم حدِّدْ أسماءَ النواتجِ حيث تتوقَّعُ حدوثَ تفاعلات.

أ. $Zn(s) + H_2O(l) \xrightarrow{50°C}$ ______

ب. $Sn(s) + O_2(g) \rightarrow$ ______

ج. $Cd(s) + Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow$ ______

د. $Cu(s) + HCl(aq) \rightarrow$ ______

الحلّ

أ. هذا التفاعلُ بين الخارصين والماء، عند درجةِ الحرارة 50ºC، لا يمكنُ أن يحدثَ لأن الماءَ ليس ساخنًا بالدرجةِ الكافيةِ ليصبحَ بخارًا.

ب. كلُّ فلزٍّ أكثرُ نشاطيةً من الفضةِ يتفاعلُ مع الأكسجين ليكوّنَ أكسيدًا. فالقصديرُ Sn يقعُ فوق الفضةِ في سلسلةِ النشاطية، لذلك يحدثُ التفاعلُ بينه وبين الأكسجين ليعطيا أكسيدَ القصدير SnO أو SnO_2.

ج. يمكنُ لأيِّ عنصرٍ أن يُستبدلَ بعنصرٍ آخرَ يقعُ تحتَه في سلسلةِ النشاطيةِ داخلَ مركّبٍ في محلولٍ مائيّ. الكادميوم يقعُ فوق الرصاص، لذا يحدثُ بينهما التفاعلُ الذي يعطي الرصاص Pb ونيترات الكادميوم $Cd(NO_3)_2$.

د. إن أيَّ فلزٍّ أكثرَ نشاطيةً من الهيدروجين قد يحلُّ محلَّ هيدروجينِ الحمض. فالنحاسُ لا يقعُ فوق الهيدروجين في السلسلة، لذلك ليس هناك تفاعلٌ متوقّع.

تمارينُ تطبيقية

1. استخدمْ سلسلةَ النشاطيةِ في الجدول 2-3، وتوقَّعْ أيُّ التفاعلاتِ يمكنُ حدوثُها من بين التفاعلاتِ التالية، ثم اكتبِ النواتجَ حيث تتوقَّعُ حدوثَ تفاعل، ثم زِنِ المعادلة.

أ. $Cr(s) + H_2O(l) \rightarrow$ ______

ب. $Pt(s) + O_2(g) \rightarrow$ ______

ج. $Cd(s) + 2HBr(aq) \rightarrow$ ______

د. $Mg(s) + H_2O(g) \rightarrow$ ______

2. حدِّدِ العنصرَ الذي يُستبدلُ بالهيدروجين من الأحماضِ ولكن لا يمكنُ أن يُستبدلَ بالقصدير من مركّباته.

3. وفقًا للجدول 2-3، ما الفلزُّ الانتقاليُّ الأكثرُ نشاطية؟

الجواب

1. أ. لا يحدثُ تفاعل

ب. لا يحدثُ تفاعل

ج. يحدثُ التفاعل التالي:

$Cd(s) + 2HBr(aq) \rightarrow CdBr_2(aq) + H_2(g)$

د. يحدثُ التفاعل التالي:

$Mg(s) + 2H_2O(g) \rightarrow Mg(OH)_2(aq) + H_2(g)$

2. الرصاص Pb

3. المنجنيز Mn

مراجعةُ القسم 3-2

1. كيفَ يمكنُ أن تكونَ سلسلةُ النشاطيةِ مفيدةً في توقُّعِ السلوكِ الكيميائي؟

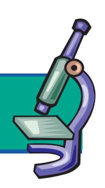
2. استنادًا إلى سلسلةِ النشاطية، توقَّعْ أيٌّ من التفاعلاتِ التالية يمكنُ حدوثُها؟

أ. $Ni(s) + H_2O(l) \rightarrow$ ______

ب. $Br_2(l) + KI(aq) \rightarrow$ ______

ج. $Au(s) + HCl(aq) \rightarrow$ ______

3. اكتبْ نواتجَ التفاعلاتِ المتوقّعِ حدوثُها في التمرين 2. ثم زِنِ المعادلات.



قراءة علمية

الماءُ الحمضيُّ- تهديدٌ خَفِيّ

عندما تشتري بيتًا مع بئرِه الخاصة، يكونُ من الطبيعيِّ جدًّا أن تتفحّصَ ماءَ تلك البئر. وغالبًا ما يتركّزُ الفحصُ على محاولةِ معرفةِ ما إذا كان الماءُ ملوّثًا بكائناتٍ حيةٍ مجهريةٍ أو جراثيمَ مسببّةٍ للأمراض. وقلّما يتركّزُ الاهتمامُ على قياسِ حمضيةِ الماء.

لا يعي الكثيرون من الناسِ قيمةَ pH المياهِ المستخدمةِ في بيوتِهم إلا بعد تعرضُّهمْ لظواهرَ مثل التراكمِ الحلقيِّ لمادّةٍ زرقاءَ حولَ البورسلانِ المستخدم في صرفِ الماء، أو توقفِ السخّانِ عن العمل بشكلٍ فجائي، أو تكرُّرِ حالاتِ وفاةِ أسماكِ الزينةِ في أحواضِها. هذه الأحداثُ كلُّها يكادُ يكونُ سببَها الرئيسَ الماءُ الحمضيُّ الذي يكونُ مسؤولاً كذلك عن حالةِ التسممِ بالرصاص.

واحتمالُ التسممِ بالرصاصِ بسببِ المياهِ المنزليةِ قد أغفلَ في معظمِ الأحيان، في حينِ لا يزالُ الكثيرُ من البيوتِ القديمةِ يستخدمُ أنابيبَ الرصاصِ في تجهيزاتِه الصحية. ومع أن كثيرًا من المنازلِ الحديثةِ تستعملُ أنابيبَ النحاس، فإن معظمَ وصلاتِ الأنابيبِ هذه تختمُ بلحامٍ من الرصاص. يمكنُ للمياهِ الحمضيةِ أن تذيبَ الرصاصَ على صورةِ كاتيوناتٍ من وصلاتِ اللحام، أو تذيبَ النحاسَ من الأنابيبِ ذاتِها. هذه الموادُّ تجعلُ أنبوبَ الصرفِ في المغسلةِ أزرق. إضافةً إلى ذلك فإن الذين اعتادوا ملءَ غلّاياتِهم في الصباحِ من الصنبورِ دون تركِها مفتوحةً لمدةٍ قصيرة، قد يضيفونَ عددًا من الموادِّ الكيميائيةِ غيرِ المرغوبِ فيها إلى القهوةِ أو الشاي الذي يحتسونَه.

إن التسممَ بالرصاصِ بالغُ الخطورةِ بالنسبةِ للأولادِ الصغار. فمعدّلُ امتصاصِه في أمعاءِ الطفل أعلى بكثيرٍ من معدلِه عند الكبار. والرصاصُ السامُّ يمكنُ أن يتلفَ الجهازَ العصبيَّ للطفل بشكلٍ دائم. ولكنَّ ما يدعو للتفاؤل أن الرصاصَ السامَّ والتأثيراتِ الأخرى للمياهِ الحمضيةِ في البيت يمكنُ تلافيها بسهولة. إليكَ بعضَ ما يمكنُ أن تقومَ به من أجلِ ذلك:

1. راقبْ pH مياهِ بيتِك بشكلٍ منتظم، خصوصًا إذا كان الماءُ مصدرُهُ البئر. يمكنُكَ القيامُ بذلك بسهولةٍ بواسطةِ أوراقِ اختبارِ الـ pH (انظر الصورة) التي يمكنُ أن تبتاعَها من الصيدليةِ أو متاجرِ بيعِ الخردواتِ أو محلاتِ بيعِ الحيواناتِ المنزلية. من المعروفِ أن كثيرًا من أسماكِ الزينةِ الاستوائيةِ غيرُ قادرةٍ على تحمُّلِ الماءِ القاعدي ذي الـ pH المرتفع أو الماءِ الحمضيِّ ذي الـ pH المنخفض. إن pH المياهِ الموزعةِ في المدنِ يكونُ منظَّمًا بشكلٍ جيّدٍ في معظمِ الأحيان، لكن هذا لا يمنعُ من اختبارِه للتأكدِ من ذلك.
2. قبل أن تملأ غلّايتَكَ بالماء، أو قبل أن تشربَ عند الصباحِ اتركْ حنفيتَكَ مفتوحةً لمدّةِ نصفِ دقيقة. فإذا كان الماءُ حمضيًّا فإنّ أول كميةٍ من الماءِ تخرجُ من الصنبورِ هي التي تحتوي على تركيزٍ عالٍ من أيوناتِ الرصاصِ والنحاس.
3. إن تثبيتَ مضخّةِ حقنٍ للقلوياتِ على صنبورِ الماءِ الرئيسِ لا يكلِّفُ ثمنًا غاليًا، ويمثِّلُ حلاً ذا صيانةٍ قليلةِ الكلفة، ويحافظُ في الوقتِ ذاتِه على سلامةِ التمديدات، ويقللُ من احتمالِ التسممِ بالرصاصِ لدى استهلاكِكَ لماءِ الحنفية. فهذه المضخّةُ تحقنُ كميةً قليلةً من القلويّات (غالبًا ما تكون من كربوناتِ البوتاسيوم أو كربوناتِ الصوديوم) داخلَ خزّانِ الماءِ في كلِّ مرّةٍ تشغَّلُ فيها مضخّةُ البئر. هذا يعادلُ بشكلٍ فاعلٍ حمضيةَ الماءِ المستخدمِ في المنزل. يوضحُ التفاعلُ التالي تأثيرَ معادلةِ حمضيةِ ماءِ البئرِ بواسطةِ كربوناتِ البوتاسيوم (علمًا أن مصدرَ حمضيةِ ماءِ البئرِ هو مياهُ الأمطارِ الحمضية).

$$K_2CO_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow K_2SO_4(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$$



يمكنُ استخدامُ أوراقِ pH، كهذه التي في الصورةِ، لمعرفةِ pH المياهِ المنزلية.

مراجعةُ الفصل 2

ملخّصُ الفصل

1-2

- هناك أربعةُ مؤشراتٍ تدلُّ على حدوثِ تفاعلٍ كيميائيّ، هي انبعاثُ الحرارةِ والضوء، وإنتاجُ غازٍ معيَّن، وتغيرٌ في اللون، وتكوينُ راسب.
- تمثِّلُ المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونة، برموزِها وصيغِها، هويّاتِ المتفاعلاتِ والنواتجِ وكميّاتِها النسبيةَ في التفاعلِ الكيميائي.

المفردات

التفاعلُ الانعكاسيّ (51) reversible reaction
الراسب (47) precipitate
المعادلةُ الكيميائية (47) chemical equation
المعادلةُ بالصيغ (49) formula equation
المعادلةُ بالكلمات (49) word equation
المعامِل (48) coefficient

2-2

- تتمثَّلُ تفاعلاتُ الاتحادِ بالمعادلةِ العامة:

$$A + X \rightarrow AX$$

- تتمثَّلُ تفاعلاتُ الانحلالِ بالمعادلةِ العامة:

$$AX \rightarrow A + X$$

- تتمثَّلُ تفاعلاتُ الاستبدالِ الأحاديِّ بإحدى المعادلتينِ العامتين:

$$A + BX \rightarrow AX + B$$

$$Y + BX \rightarrow BY + X$$

- تتمثَّلُ تفاعلاتُ الاستبدالِ الثنائيِّ بالمعادلةِ العامة:

$$AX + BY \rightarrow AY + BX$$

المفردات

التحليلُ الكهربائيّ (63) electrolysis
تفاعلُ الاستبدالِ الأحادي (64) single replacement reaction
تفاعلُ الاحتراق (66) combustion reaction
تفاعلُ الإزاحة (64) displacement reaction
تفاعلُ الاتحاد (60) synthesis reaction
تفاعلُ الانحلال (62) decomposition reaction
تفاعلُ التكوين (60) compostion reaction
تفاعلُ الاستبدالِ الثنائي (65) double replacement reaction

3-2

- تُرتِّبُ سلسلةُ النشاطيةِ العناصرَ بحسبِ نشاطِها الكيميائيّ، وهي تفيدُ في توقُّعِ حدوثِ تفاعلٍ كيميائيّ أو عدمِ حدوثِه.
- يرتِّبُ الكيميائيونَ سلسلةَ النشاطيةِ من خلالِ التجاربِ التي يُجرونَها.

المفردات

سلسلةُ النشاطية (68) activity series

مراجعةُ المفاهيم

1. اذكرْ أربعةَ مؤشراتٍ تدُلُّ على حدوثِ تفاعلٍ كيميائيّ.

2. أ. ماذا تعني كلمةُ معاملٍ المستخدمةُ في المعادلةِ الكيميائية؟
ب. كيف يؤثِّرُ وجودُ المعاملِ في عددِ ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ في الصيغةِ التي يوضعُ أمامَها؟

3. أعطِ مثالاً على معادلةٍ بالصيغ، وآخرَ على معادلةٍ كيميائية.

4. ما المعلوماتُ الكميةُ التي يمكنُ الحصولُ عليها من المعادلةِ الكيميائية؟

5. عرِّف ما يلي:
أ. محلولٌ مائيّ
ب. حفّاز
ج. تفاعلٌ انعكاسيّ

6. اكتبْ صيغَ المركّباتِ التالية:
أ. هيدروكسيدِ البوتاسيوم
ب. نيتراتِ الكالسيوم
ج. كربوناتِ الصوديوم

7. ما عددُ ذرّاتِ كلِّ عنصرٍ في الموادِّ التالية؟
أ. $3N_2$
ب. $2H_2O$
ج. $4HNO_3$
د. $2Ca(OH)_2$
هـ. $3Ba(ClO_3)_2$

8. عرِّفِ الأنواعَ الخمسةَ الأساسيةَ للتفاعلاتِ الكيميائيةِ التي قُدِّمَتْ في الفصل 2، وعزِّزْها بمعادلاتِها العامة.

9. ماذا يلزمُ لحدوثِ معظمِ تفاعلاتِ الانحلال؟

10. ما التحليلُ الكهربائيّ؟

11. أ. في أيِّ وسطٍ يمكنُ أن تحدثَ غالبيةُ تفاعلاتِ الاستبدالِ الأحادي؟
ب. قارنْ بين تفاعلاتِ الاستبدالِ الأحادي، وتفاعلاتِ الانحلال، وتفاعلاتِ الاتحادِ من حيث كميةُ الطاقةِ اللازمةِ لحدوثِها.

12. أ. ماذا نعني بنشاطيةِ العنصرِ الكيميائي؟
ب. فيمَ يختلفُ هذا الوصفُ بالنسبةِ للفلزاتِ عنه بالنسبةِ للافلزات؟

13. أ. ما سلسلةُ النشاطيةِ للعناصر؟
ب. علامَ يعتمدُ ترتيبُ العناصرِ في سلسلةِ النشاطية؟

14. أ. ما المبدأ الكيميائيُّ الذي ترتكزُ عليهِ سلسلةُ نشاطيةِ الفلزات؟
ب. ما أهميةُ الموقعِ أو المسافةِ بين فلزّينِ في سلسلةٍ للنشاطية؟

مسائل

المعادلاتُ الكيميائية

15. اكتبِ المعادلةَ الكيميائيةَ الخاصةَ بكلٍّ من التفاعلاتِ التالية. ضمِّنِ المعادلةَ رموزَ الحالةِ الفيزيائيةِ الملائمة. (انظرِ المسألةَ النموذجية 2-1)
أ. المتفاعلاتُ: غازُ الأكسجين، كبريتيدُ الخارصين الصلب
النواتجُ: غازُ ثاني أكسيدِ الكبريت، أكسيدُ الخارصينِ الصلب
ب. المتفاعلاتُ: حمضُ الهيدروكلوريك، محلولُ هيدروكسيدِ المغنيسيوم
النواتجُ: محلولُ كلوريدِ المغنيسيوم، ماء

16. عبِّرْ عن المعادلاتِ الكيميائيةِ التاليةِ بجمل. (انظرِ المسألةَ النموذجية 2-2)
أ. $2ZnS(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2ZnO(s) + 2SO_2(g)$
ب. $CaH_2(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq) + 2H_2(g)$

17. زِنْ كلاًّ من المعادلاتِ التالية:
أ. $H_2 + Cl_2 \rightarrow HCl$
ب. $Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + Fe$
ج. $Pb(CH_3COO)_2 + H_2S \rightarrow PbS + CH_3COOH$

18. تأملِ المعادلاتِ التالية. ثم حدّدِ الخطأ إن وجدَ، وصحِّحْهُ، ثمَّ زِنْ كلَّ معادلة.
أ. $Li + O_2 \rightarrow LiO_2$
ب. $H_2 + Cl_2 \rightarrow H_2Cl_2$
ج. $MgCO_3 \rightarrow MgO_2 + CO_2$
د. $NaI + Cl_2 \rightarrow NaCl + I$

19. اكتبْ معادلةً كيميائيةً لكلٍّ من الجملِ التالية:
أ. يتحدُ الألمنيوم مع الأكسجين لتكوينِ أكسيدِ الألمنيوم.
ب. ينتجُ حمضُ الفوسفوريك H_3PO_4 عن التفاعلِ بين عشاري أكسيدِ رُباعي الفوسفور والماء.

20. يستعملُ رُباعي كلوريدِ الكربون كمركّبٍ كيميائيٍّ وسيطٍ في صناعةِ بعضِ الموادِّ الكيميائية. ويحضَّرُ على شكل سائلٍ بالتفاعلِ بين غازِ الكلور وغازِ الميثان، وينتجُ عن هذا التفاعلِ كذلك غازُ كلوريدِ الهيدروجين. اكتبِ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ لإنتاجِ رابعِ كلوريدِ الكربون. (انظرِ المسألتين النموذجتين 2-3 و 2-4)

21. حدّدْ في كلٍّ من تفاعلاتِ الاتحادِ التاليةِ هويّةَ المتفاعلاتِ والنواتجِ الناقصة، وزنِ المعادلةَ الناتجة:

أ. $Mg + ____ \rightarrow MgO$

ب. $____ + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$

ج. $Li + Cl_2 \rightarrow ____$

د. $Ca + ____ \rightarrow CaI_2$

أنواعُ التفاعلاتِ الكيميائية

22. أكمِلْ وزنْ معادلاتِ التفاعلاتِ الكيميائيةِ التالية:

أ. $HgO \xrightarrow{\Delta} ____$

ب. $H_2O(l) \xrightarrow{\text{كهرباء}} ____$

ج. $Al + NiSO_4 \rightarrow ____$

د. $Na + H_2O \rightarrow ____$

هـ. $AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow ____$

و. $CH_4 + O_2 \rightarrow ____$

ز. $C_5H_{12} + O_2 \rightarrow ____$

23. حدِّدِ المركّبَ الذي يتفككُ ليعطيَ النواتجَ التالية، ثم زنِ المعادلةَ النهائية:

أ. أكسيدُ المغنيسيوم والماء

ب. أكسيدُ الرصاص (II) والماء

ج. كلوريدُ الليثيوم والأكسجين

سلسلةُ النشاطية

24. استخدمْ سلسلةَ النشاطيةِ للفلزّاتِ والهالوجينات ص 69، وبيّنْ أيُّ عنصرٍ في أزواجِ العناصرِ التاليةِ هو الأكثرُ قابليةً لأن يُستبدَلَ بعنصرٍ آخرَ في مركّب؟

أ. K و Na

ب. Al و Ni

ج. Bi و Cr

د. Cl و F

هـ. Au و Ag

و. Cl و I

ز. Fe و Sr

ح. I و F

25. استخدمْ سلسلةَ النشاطيةِ في الجدول 2-3 لتتوقَّعَ إمكانيةَ حدوثِ أو عدمِ حدوثِ التفاعلاتِ التالية، ثم اكتبِ النواتجَ وزِنْ معادلةَ التفاعلِ الذي يُمكنُ حدوثُه.

أ. $Ni(s) + CuCl_2(aq) \rightarrow ____$

ب. $Zn(s) + Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow ____$

ج. $Cl_2(g) + KI(aq) \rightarrow ____$

د. $Cu(s) + FeSO_4(aq) \rightarrow ____$

هـ. $Ba(s) + H_2O(l) \rightarrow ____$

26. استخدمْ سلسلةَ النشاطيةِ لتتوقعَ إمكانيةَ حدوثِ أو عدمِ حدوثِ تفاعلاتِ الاتحادِ التالية، ثم اكتُبِ المعادلاتِ الكيميائيةَ للتفاعلاتِ التي تحدث:

أ. $Ca(s) + O_2(g) \rightarrow ____$

ب. $Ni(s) + O_2(g) \rightarrow ____$

ج. $Au(s) + O_2(g) \rightarrow ____$

مراجعةٌ متنوعة

27. وظِّفْ سلسلةَ النشاطيةِ لتتوقَّعَ أفضلَ فلزٍّ يمكنُ اختيارُهُ من بين الفلزاتِ Sn، Mn، Pt، ليشكّلَ وعاءً يحتوي على حمض.

28. يُنتَجُ محلولُ هيدروكسيدِ الصوديوم صناعيًّا بالتحليلِ الكهربائيِّ لمحلولِ كلوريدِ الصوديوم. ويَنتُجُ من التفاعلِ غازُ الهيدروجين والكلورُ أيضًا. اكتبِ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ لإنتاجِ هيدروكسيدِ الصوديوم، وضمِّنْها حالةَ المتفاعلاتِ والنواتجِ الفيزيائيةِ اللازمة.

29. وظِّفْ سلسلةَ النشاطيةِ لتتوقَّعَ حدوثَ أو عدمَ حدوثِ التفاعلاتِ التالية، ثم اكتبِ المعادلاتِ الكيميائيةَ الموزونةَ للتفاعلاتِ التي تحدث.

أ. $Al(s) + O_2(g) \rightarrow ____$

ب. $Pb(s) + ZnCl_2(s) \rightarrow ____$

ج. $Rb(s) + Zn(NO_3)_2(aq) \rightarrow ____$

30. ما عددُ مولاتِ HCl الذي ينتُجُ عن تفاعلِ 6.15 mol من الهيدروجين ووفرةٍ من الكلور؟

31. زنِ المعادلاتِ التالية:

أ. $Pb(NO_3)_2(aq) + NaOH(aq) \rightarrow Pb(OH)_2(s) + NaNO_3(aq)$

ب. $Al(OH)_3(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + H_2O(l)$

تفكيرٌ ناقد

32. علاقاتٌ استدلالية: تبنى سلسلةُ النشاطيةِ عن طريق مقارنةِ تفاعلاتِ الاستبدالِ الأحاديِّ بين الفلزات. وتأسيسًا على ملاحظةِ هذه التفاعلاتِ يمكنُ تصنيفُ نشاطيةِ الفلزّاتِ وترتيبُها بحسبِ قدرتِها على التفاعل. كذلك يمكنُ أن تفسَّرَ النشاطيةُ عن طريقِ السهولةِ التي تفقدُ بها ذرّاتُ الفلزّاتِ إلكتروناتِها. وظّفِ المعلوماتِ أعلاه لتحديدِ مواقعِ الفلزاتِ الأكثر نشاطيةً والفلزّاتِ الأقلِّ نشاطيةً في الجدولِ الدوري. ارتكزْ إلى معرفتِك بالتوزيعِ الإلكترونيِّ والخصائصِ الدورية، لتضعَ تفسيراتٍ ملائمةً للعلاقةِ بين نشاطيةِ هذه الفلزّاتِ ومواقعِها في الجدولِ الدوري.

33. تحليلُ نتائج: إبنِ سلسلةَ نشاطيةِ العناصرِ الافتراضيةِ A، J، Q، Z مستخدمًا المعلوماتِ التالية:

$$A + ZX \rightarrow AX + Z$$

$J + ZX \rightarrow$ لا يحدث تفاعل

$$Q + AX \rightarrow QX + A$$

بحثٌ وكتابة

34. تحدَّثْ عن تطورِ تقنيةِ فَلْوَرَةِ مياهِ الشرب. ما حسناتُ وما سيِّئاتُ استخدامِ هذه الطريقة؟

35. قمْ بزيارةٍ ميدانيةٍ إلى أقربِ مركزٍ للدفاعِ المدنيّ. ثم اكتب تقريرًا علميًّا تعدد فيه أنواعَ المطافئِ المستخدمةِ، وميزاتِ كلٍّ منها، منتهيًا بمطفأةِ حمضِ الكبريتيكِ والصودا. وظفِ المعادلاتِ في تفسيرِ ما يحدثُ أثناءَ استخدامِ المِطْفأة.

تقويمٌ بديل

36. تقويمُ الأداء: سجِّلْ في فترةِ أسبوعٍ جميعَ ما في محيطكَ من حالاتٍ تدلُّ بشكلٍ واضحٍ على تغيُّرٍ كيميائيّ. حدِّدِ المتفاعلاتِ والنواتجَ وكذلكَ المؤشراتِ الدالةَ على حدوثِ التفاعلِ الكيميائي. صنِّفْ كلاً من هذه التفاعلاتِ الكيميائيةِ حسبَ النماذجِ التي نوقشتْ في هذا الفصل.

37. صمِّم مجموعةً من التجاربِ تمكّنُكَ من بناءِ سلسلةِ نشاطيةٍ للعناصر Al، Cr، Fe، Mg، مستخدمًا الأزواجَ التالية:

أ. الألمنيوم وكلوريد الألمنيوم

ب. الكروم وكلوريد الكروم (III)

ج. الحديد وكلوريد الحديد (II)

د. المغنيسيوم وكلوريد المغنيسيوم

الفصــل 3

الحساباتُ الكيميائية



الحساباتُ الكيميائيةُ هي همزةُ الوصلِ بين تفاعلٍ تراهُ أمامَكَ في أنبوبةِ الاختبارِ ومنتَجٍ مصنّعٍ يتِمُّ تداوُلُهُ في حياتِك.

القسم 1-3

مؤشراتُ الأداء

- يعرِّفُ مفهوم الحسابات الكيميائية.
- يصفُ أهميةَ النسبةِ الموليةِ في الحساباتِ الكيميائية.
- يكتبُ النسبةَ الموليةَ ليربطَ بين مادتينِ في معادلةٍ كيميائية.

مقدِّمةٌ في الحساباتِ الكيميائية

تأسستْ معظمُ معارفِنا في الكيمياءِ على التحاليلِ الكميّةِ الدقيقةِ للموادِّ الداخلةِ في تفاعلاتٍ كيميائية. *تُعنى الحساباتُ الكيميائيةُ للتركيب* **composition stoichiometry** *بالعلاقةِ الكتليةِ بين العناصرِ في المركّبات، بينما تعنى الحساباتُ الكيميائيةُ المبنيةُ على التفاعل* **reaction stoichiometry** *بالعلاقةِ الكتليةِ بين الموادِّ الداخلةِ في التفاعلِ الكيميائيِّ (المتفاعلات) والموادِّ الناتجةِ عنه (النواتج).* تعتمدُ الحساباتُ الكيميائيةُ المبنيةُ على التفاعل، وهو موضوعُ فصلِنا الحالي، على معادلاتٍ كيميائية، وعلى قانونِ حفظِ الكتلة. وتبدأ جميعُ الحساباتِ الكيميائيةِ المبنيةِ على التفاعلِ بمعادلاتٍ كيميائيةٍ موزونةٍ balanced equation تُظهرُ معامِلاتُها النسبَ الموليةَ للموادِّ المتفاعلةِ والناتجة.

مسائلُ في الحساباتِ الكيميائيةِ المبنيةِ على التفاعل

يمكنُ تصنيفُ مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ المبنيةِ على التفاعلِ الموجودةِ في هذا الفصلِ وفقًا للمعلوماتِ المعطاةِ في المسألةِ والمعلوماتِ التي يُتوقّعُ إيجادُها، وهي المجهول. يمكنُ أن يكونَ كلٌّ من المعطى والمجهولِ من الموادِّ المتفاعلةِ أو الناتجة، أو ربما يكونُ أحدُها متفاعلاً والآخرُ ناتجًا. يعبَّرُ عن الكتلِ عادةً بالجرام، لكنك ستصادفُ مسائلَ تستخدمُ وحداتِ قياسٍ كبيرةً مثل kg وأخرى صغيرةً مثل mg. تُحلُّ مسائلُ الحساباتِ الكيميائيةِ باستخدامِ النِّسبِ المأخوذةِ من المعادلاتِ الكيميائيةِ الموزونةِ لتحويلِ الكميةِ المعطاةِ بالحالاتِ التالية:

مسائلُ النوعِ الأول: كمياتُ المعطى والمجهولِ مقيسةً بالمولات.

مسائلُ النوعِ الثاني: كميةُ المعطى مقيسةً بالمولات، وكتلةُ المجهولِ معبَّرًا عنها بالجرامات.

مسائلُ النوعِ الثالث: كتلةُ المعطى بالجراماتِ وكميةُ المجهولِ بالمولات.

مسائلُ النوعِ الرابع: كتلةُ المعطى بالجراماتِ وكتلةُ المجهولِ بالجرامات.

النسبةُ المولية

لحلِّ أيِّ مسألةٍ من مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ المبنيةِ على التفاعل، يلزمُ استعمالُ النسبةِ المولية، وذلكَ لتحويلِ مولاتٍ أو جراماتِ مادةٍ داخلةٍ في تفاعلٍ كيميائيٍّ إلى مولاتٍ أو جراماتِ مادةٍ أخرى في ذلك التفاعل. و**النسبةُ المولية mole ratio** هي مُعاملُ تحويلِ كميّتَيْ مادتينِ في أيِّ تفاعلٍ كيميائيٍّ إلى مولات. ويمكنُ الوصولُ إلى النسبةِ المولية مباشرةً من المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونة. خذْ مثلاً، معادلةَ التحليلِ الكهربائيِّ لأكسيدِ الألمنيوم لإنتاجِ الألمنيوم والأكسجين.

$$2Al_2O_3(l) \rightarrow 4Al(s) + 3O_2(g)$$

من المعادلةِ السابقة، يتفككُ 2 mol من أكسيدِ الألمنيوم لإنتاجِ 4 mol من الألمنيوم و 3 mol من غازِ الأكسجين. يمكنُ التعبيرُ عن هذه العلاقاتِ بالنسبِ الموليةِ التالية:

$$\frac{2 \text{ mol } Al_2O_3}{4 \text{ mol } Al}$$

$$\frac{2 \text{ mol } Al_2O_3}{3 \text{ mol } O_2}$$

$$\frac{4 \text{ mol } Al}{3 \text{ mol } O_2}$$

بالنسبةِ إلى تفككِ أكسيدِ الألمنيوم، فإن النسبةَ الموليةَ الأجدى هي النسبةُ المستخدَمةُ كمُعاملِ تحويل، وذلك لتحويلِ كميةٍ من مادةٍ معطاةٍ بالمولاتِ إلى كميةٍ مناظرةٍ لها من مادةٍ أخرى مطلوبةٍ أيضًا بالمولات. وللتحديدِ بالمولاتِ كميةَ الألمنيوم التي يمكنُ إنتاجُها من 13.0 mol من أكسيدِ الألمنيوم، يجبُ أن نستخدمَ النسبةَ الموليةَ الملائمة، وهي النسبةُ اللازمةُ لتحويلِ Al_2O_3 إلى Al.

$$13.0 \text{ mol } Al_2O_3 \times \frac{4 \text{ mol } Al}{2 \text{ mol } Al_2O_3} = 26.0 \text{ mol } Al$$

تكونُ النِّسبُ الموليةُ عادةً أرقامًا صحيحة، لذلك هي لا تُحدِّدُ عددَ الأرقامِ المعنويةِ في أيٍّ من الحسابات، إنما يتمُّ تحديدُ عددِ الأرقامِ المعنويةِ في الجوابِ فقط بعددِ الأرقامِ المعنويةِ للكمياتِ المعطاةِ في المسألةِ المعنية.

الكتلةُ المولية

تعلمتَ سابقًا أن الكتلةَ الموليةَ هي الكتلةُ بالجراماتِ لمولٍ واحدٍ من المادة. والكتلةُ الموليةُ هي معاملُ تحويلٍ يربطُ كتلةَ مادةٍ بكميتِها بالمولات. ونحصلُ عليها من الجدولِ الدوري.

بالعودةِ إلى المثلِ السابقِ الخاصِّ بتفككِ أكسيدِ الألمنيوم، تكونُ قيمُ الكتلِ الموليةِ المقرّبةِ المأخوذةِ من الجدولِ الدوريِّ كالتالي:

$$Al_2O_3 = 101.96 \text{ g/mol} \qquad O_2 = 32.00 \text{ g/mol} \qquad Al = 26.98 \text{ g/mol}$$

ويعبَّرُ عن هذه الكتلِ الموليةِ بمُعامِلاتِ التحويلِ التالية:

$$\frac{1 \text{ mol } Al_2O_3}{101.96 \text{ g } Al_2O_3}$$

$$\frac{1 \text{ mol Al}}{26.98 \text{ g Al}}$$

$$\frac{1 \text{ mol } O_2}{32.00 \text{ g } O_2}$$

لإيجادِ عددِ جراماتِ الألمنيوم في 26.0 mol ألمنيوم، تجري الحساباتُ على الشكلِ التالي:

$$26.0 \text{ mol Al} \times \frac{26.98 \text{ g Al}}{\text{mol Al}} = 701 \text{ g Al}$$

مراجعةُ القسم 1-3

1. ماذا يُقصَدُ بمفهومِ الحساباتِ الكيميائية؟
2. كيف تَستخدِمُ النسبةَ الموليةَ المستخرجةَ من تفاعلٍ كيميائيٍّ معيَّن في مسائلِ الحساباتِ الكيميائية؟
3. احسُبِ النسبَ الموليةَ المحتمَلةَ لكلٍّ من المعادلاتِ الكيميائيةِ التالية:

أ. $2HgO(s) \rightarrow 2Hg(l) + O_2(g)$

ب. $2Al(s) + 3H_2SO_4(aq) \rightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + 3H_2(g)$



قراءة علمية

التركيبُ الكيميائيُّ لزيتِ الزيتون

من مقالٍ للدكتور زغلول النجار.

شجرةُ الزيتونِ شجرةٌ معمّرة، دائمةُ الخضرة، تتحملُ الجفافَ بشكلٍ كبير. وثمرتُها من أهمِّ ثمارِ الزيوتِ النباتية، إذ يشكِّلُ زيتُها ما بين 60% و 70% من وزنِ الثمرةِ في المتوسط. ويتكونُ زيتُ الزيتونِ من عددٍ من المركّباتِ الكيميائيةِ المهمة، منها مركّباتُ الجليسرينِ والأحماضِ الدهنيةِ المعروفةِ باسمِ الجليسريدات glycerides. يكوِّنُ الحمضُ الدهنيُّ نسبةً كبيرةً من وزنِ الزيت، ولذلكَ تتوقَّفُ صفاتُ كلِّ زيتٍ إلى حدٍّ كبيرٍ على نوعِ الحمضِ الدهنيِّ المكوِّنِ لمركبِ الجليسريداتِ فيه. من أشهرِ الأحماضِ الدهنيةِ في الزيتونِ وفي الدهونِ بصفةٍ عامةٍ ما يلي:

1. حمضُ زيتِ الزيتون (الأوليك) oleic acid.
2. حمضُ زيتِ النخيل (البالمتيك) palmatic acid.
3. حمضُ زيتِ الكتان (اللينوليك) linoleic acid.
4. حمضُ زيتِ الاستياريك stearic acid.
5. الحمضُ الغامضُ (حمض المستريك) mystric acid.

بالإضافةِ إلى ذلك يحتوي زيتُ الزيتونِ على البروتيناتِ وعلى نسبٍ متفاوتةٍ من العناصرِ التالية: البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنيسيوم، الفوسفور، الحديد، النحاس، الكبريت وغيرها، بالإضافةِ إلى نسبةٍ من الألياف. هذه المكوّناتُ تدخلُ في بناءِ حواليِّ ألفِ مركّبٍ كيميائيٍّ حيويٍّ متوفّرةٍ في زيتِ الزيتون، كلُّها نافعةٌ لجسمِ الإنسانِ وبعضُها ضروريٌّ لسلامته. من هنا فاق فضلُ هذا



الزيتِ فضلَ غيرِهِ من الدهونِ والزيوت. ويُعدُّ زيتُ الزيتونِ أفضلَ الزيوتِ النباتيةِ على الإطلاق، وذلك لما أعطاهُ الله (تعالى) من خاصيةِ خفضِ ضغطِ الدمِ وتقليلِ امتصاصِ الجسمِ للكوليسترول بصفةٍ عامةٍ وإنقاصِ المعدلِ الكليِّ للكوليسترول في الدم بحواليِّ 13%، وإنقاصِ معدلِ الكوليسترولِ الضارِّ في الدم، وهو المعروفُ باسمِ الكوليسترولِ الخفيف LDL (low density lepidoprotein) بنسبةِ 21%، فيرفعُ بذلك نسبةَ الكوليسترولِ المفيدِ نسبيًّا في الدم، وهو المعروفُ باسمِ الكوليسترولِ الثقيل HDL (high density lepidoprotein).

ومن الثابتِ طبيًّا أنه كلما انخفضتْ نسبةُ الكوليسترولِ الضارِّ وزادَتْ نسبةُ الكوليسترولِ المفيدِ في الدمِ كلما قلتْ نسبةُ الإصابةِ بالجلطاتِ القلبية، وبصورةٍ خاصةٍ نسبةُ الإصابةِ المعروفةِ باسمِ احتشاءِ العضلةِ القلبية. وعلى ذلك فإنَّ تناوُلَ زيتِ الزيتونِ بكمياتٍ منتظمةٍ تحمي القلبَ من أمراضِ انسدادِ الشرايين، وهي من أكثرِ الأمراضِ انتشارًا في الزمنِ الحاضر، خاصةً في الدولِ الغنيةِ التي يبالغُ أفرادُها في تناولِ الطعامِ إلى حدِّ التخمة. وقد لوحِظ، فوق ذلك، أن أقلَّ نسبةِ إصابةٍ بمرضِ الشرايينِ التاجية (الإكليلية) القلبيةِ هي في حوضِ البحرِ الأبيضِ المتوسط، وخاصةً في بلدانِهِ التي يتناولُ أبناؤها الزيتونَ وزيتَهُ بكمياتٍ ثابتةٍ ومنتظمة. وهم يعتبرونَ كلاًّ من هذه الثمرةِ المباركةِ وزيتِها مصدرًا أساسيًّا للدسمِ في طعامِهم، مما يشيرُ إلى دورهما الفعّالِ في الوقايةِ من أمراضِ شرايينِ القلب، خصوصًا أنه قد ثبتَ بالتحليلِ الدقيقِ احتواءُ كلٍّ من الثمرةِ وزيتِها على مركّباتٍ كيميائيةٍ تمنعُ تخثّرَ الدم. وانطلاقًا من ذلك يوصي الأطباءُ كلَّ من أجريتْ لهم عملياتُ توسعةٍ لشرايينِ القلبِ بتناولِ 4-5 ملاعقَ من زيتِ الزيتونِ يوميًّا وبشكلٍ روتينيّ، كجزءٍ من العلاج. هذا، وقد جاء ذكرُ الزيتونِ وزيتِهِ في القرآنِ الكريم، تأكيدًا لقيمتِهما الغذائية.

﴿وَشَجَرَةً تَخْرُجُ مِن طُورِ سَيْنَاءَ تَنبُتُ بِالدُّهْنِ وَصِبْغٍ لِّلْآكِلِينَ ﴿٢٠﴾﴾

«المؤمنون: 20»

وهذا ما أثبتَتْهُ البحوثُ العلميةُ والطبيةُ في العقودِ المتأخرةِ من القرنِ العشرين. وتُعتَبرُ هذه الإشاراتُ من المعجزاتِ العلميةِ للقرآنِ الكريم، ومن معجزاتِ الرسولِ الخاتمِ ﷺ الذي تلقاهُ والذي يُروى عنه ﷺ قولُه:

«كلوا الزيتَ وادّهنوا به فإنه من شجرةٍ مباركة» (أخرجَه الإمامُ أحمدُ عن مالكِ بنِ ربيعةَ الساعديّ مرفوعًا).

القسم 2-3

الحساباتُ الكيميائيةُ النظرية (المثالية)

مؤشراتُ الأداء

- يحسبُ كميةَ المتفاعلاتِ والنواتجِ (بالمولات) انطلاقًا من كمياتٍ (بالمولات) لمتفاعلاتٍ ونواتجَ أخرى.
- يحسبُ كتلةَ متفاعلٍ أو ناتجٍ انطلاقًا من كميةِ مولاتِ متفاعلٍ أو ناتجٍ آخر.
- يحسبُ كميةَ متفاعلٍ أو ناتجٍ بالمولاتِ انطلاقًا من كتلةِ متفاعلٍ أو ناتجٍ آخر.
- يحسبُ كتلةَ متفاعلٍ أو ناتجٍ انطلاقًا من كتلةِ متفاعلٍ أو ناتجٍ آخر.

تلعبُ المعادلةُ الكيميائيةُ دورًا مهمًّا جدًّا في جميعِ الحساباتِ الكيميائية. وذلك لأن النسبةَ المولية يتمُّ الحصولُ عليها مباشرةً من المعادلة. ولحلِّ أيِّ مسألةٍ من مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ يجبُ الابتداءُ بمعادلةٍ موزونة.

تساعدُ المعادلاتُ الكيميائيةُ في وضعِ توقُّعاتٍ حول التفاعلِ الكيميائيِّ بدونِ الحاجةِ إلى إجراءِ التفاعلِ مختبريًّا. إن الحساباتِ الكيميائيةَ الموصوفةَ في هذا الفصلِ هي حساباتٌ نظرية. وهي تصفُ كمياتِ الموادِّ المتفاعلةِ والموادِّ الناتجةِ من تفاعلٍ كيميائيٍّ يحصُلُ ضمنَ ظروفٍ مثالية، حيث تتحولُ المادةُ المتفاعلةُ جميعُها لتكوينِ المادةِ الناتجة. وهذه الظروفُ المثاليةُ يصعُبُ توفيرُها عمليًّا. ومع ذلك، تظلُّ الحساباتُ الكيميائية هدفًا مهمًّا وهو تبيانُ أقصى كميةٍ من الناتجِ يمكنُ الحصولُ عليها دون الحاجةِ إلى إجراءِ تفاعلٍ مختبري (معملي).

يتطلّبُ حلُّ مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ المزيدَ من التدريب، وذلك بحلِّ مسائلَ نموذجيةٍ موجودةٍ في ما تبقّى من هذا الفصل. سيساعدُكَ استخدامُ السياقِ المنطقيِّ المنظَّمِ على النجاحِ في وضعِ حلولٍ لهذه المسائل.

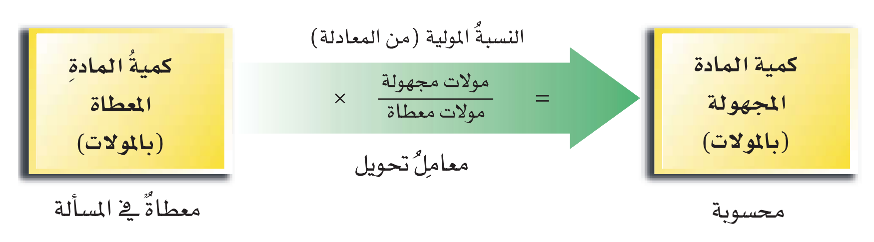
تحويلُ الكمياتِ المعرّفةِ بالمولات

في مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ هذه، سيُطلبُ إليكَ حسابُ كميةٍ بالمولاتِ لمادةٍ ستتفاعلُ أو سيتمُّ إنتاجُها من كميةٍ من مادةٍ أخرى مقيسةٍ بالمولات. مخططُ الإجراءِ الذي يجبُ مراعاتُه في مسألةِ تحويلِ المولاتِ هو:

كميةُ المادةِ المعطاة (بالمولات) ← كمية المادة المجهولة (بالمولات)

يتطلبُ هذا المخططُ معاملَ تحويلٍ واحد، هو النسبةُ الموليةُ لمادةٍ مجهولةٍ إلى مادةٍ معطاة، وذلك باستخدامِ المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونة. لحلِّ هذا النوعِ من المسائل، اضربِ الكميةَ المعطاةَ في معاملِ التحويلِ المناسب.

الكمية المجهولة = الكمية المعطاة × مُعامل تحويل



الشكل 1-3 مخطَّطٌ لحلِّ مسائلَ يُعبِّرُ عن كلٍّ من المتفاعلاتِ والنواتجِ بالمولات.

مسألةٌ نموذجية 1-3

في سفينةٍ فضائية، يمكنُ التخلّصُ من ثنائي أكسيدِ الكربونِ الناتجِ من عمليةِ زفيرِ طاقمِ السفينةِ بتفاعُلِه مع هيدروكسيدِ الليثيوم LiOH وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$CO_2(g) + 2LiOH(s) \rightarrow Li_2CO_3(s) + H_2O(l)$$

ما عددُ مولاتِ هيدروكسيدِ الليثيومِ اللازمةِ للتفاعلِ مع 20 mol من CO_2، وهو متوسطُ ما ينتُجُ من زفيرِ شخصٍ في يومٍ واحد؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: كمية CO_2 = 20 mol

المجهول: كمية LiOH بالمولات

2 خطِّط

كميةُ CO_2 (بالمولات) ← كمية LiOH (بالمولات)

تحتاجُ هذه المسألةُ لمعاملِ تحويلٍ هو النسبةُ الموليةُ من LiOH و CO_2. تحصُلُ على النسبةِ الموليةِ من المعادلةِ الموزونة. وبما أن المعطى كميّةٌ من مولاتِ CO_2 يلزمُكَ أن تختارَ النسبةَ الموليةَ التي تعطيكَ مولاتِ LiOH في جوابِك النهائي. النسبةُ الصحيحةُ هي كالتالي:

$$\frac{\text{mol LiOH}}{\text{mol CO}_2}$$

تعطي هذه النسبةُ وحدةَ mol LiOH في الجواب.

$$\text{mol CO}_2 \times \frac{\text{mol LiOH}}{\text{mol CO}_2} = \text{mol LiOH}$$

3 احسب

عوِّضِ القيمَ في المعادلة، في الخطوة 2، واحسبِ النتيجة.

$$20\ \text{mol CO}_2 \times \frac{2\ \text{mol LiOH}}{1\ \text{mol CO}_2} = 40\ \text{mol LiOH}$$

4 قيِّم

يُقرَّبُ الجوابُ بشكلٍ صحيحٍ إلى رقمٍ معنويٍّ واحدٍ لينسجمَ مع 20 mol CO_2 وتُختصَرُ الوحداتُ ليبقى فقط mol LiOH وهو المجهول.

تمارينُ تطبيقية

1. يُستخدَمُ غازُ الأمونيا NH_3 على نطاقٍ واسعٍ في صناعةِ الأسمدةِ الكيميائية. ما عددُ مولاتِ الأمونيا الناتجةِ عن تفاعلِ 6 mol من غازِ الهيدروجين مع وفرةٍ من غازِ النيتروجين؟
2. يُستخدَمُ تفككُ كلوراتِ البوتاسيوم $KClO_3$ كمصدرٍ للأكسجين في المختبر. ما عددُ مولاتِ كلوراتِ البوتاسيوم اللازمةِ لإنتاجِ 15 mol من الأكسجين؟

الجواب

1. $4\ mol\ NH_3$
2. $10.\ mol\ KClO_3$

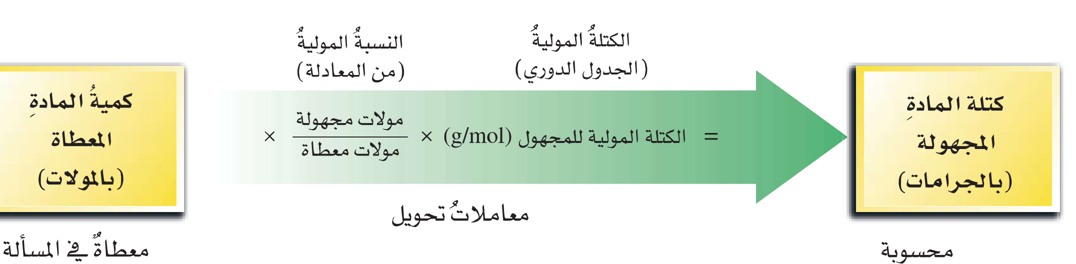
تحويلُ كميةٍ بالمولِ إلى كتلة

في هذا النوعِ من الحساباتِ الكيميائية يُطلبُ إليكَ حسابُ كتلةِ مادةٍ (هي عادةً بالجرام) تتفاعلُ أو تَنتُجُ من كميةٍ معطاةٍ من مادةٍ أخرى مشاركةٍ في التفاعلِ نفسِه، وبالمولات. الإجراءُ الذي يُتّخذُ في تحويلِ المولاتِ إلى جراماتٍ هو التالي:

كميةُ المادةِ المعطاة (بالمولات) ← كمية المادة المجهولة (بالمولات) ← كتلة المادة المجهولة (بالجرامات)

يتطلّبُ هذا الحلُّ معامِلَيّ تحويلٍ هما: النسبةُ الموليةُ للمادةِ المجهولةِ إلى المادةِ المعطاة، والكتلةُ الموليةُ للمادةِ المجهولة. ولحلِّ مثل هذه المسائلِ يجبُ ضربُ الكميةِ المعطاةِ وهي الكميةُ بالمولاتِ في معاملِ تحويلٍ مناسب.

الشكل 2-3 هذا مخطَّطٌ لحلِّ المسائلِ التي يعبَّرُ فيها بالمولاتِ عن الكميةِ المعطاة، وبالجراماتِ عن الكميةِ المجهولة.



مسألةٌ نموذجية 2-3

في عمليةِ البناءِ الضوئي، تَستخدمُ النباتاتُ طاقةَ الشمسِ لإنتاجِ الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ والأكسجين، وذلك من خلالِ تفاعلِ ثنائي أكسيدِ الكربونِ والماء. ما كتلةُ الجلوكوز بالجرامِ التي تنتجُ من تفاعلِ 3.00 mol من الماءِ مع ثنائي أكسيدِ الكربون؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: كميةُ H_2O = 3.00 mol

المجهول: كتلةُ $C_6H_{12}O_6$ الناتجةُ بالجرام

2 خطِّط

ابتداءً، اكتبِ المعادلةَ الكيميائيةَ وزِنْها.

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$$

لحلِّ هذه المسألةِ يلزمُ معاملا تحويل، هما النسبةُ الموليةُ للجلوكوز إلى الماء، والكتلةُ الموليةُ للجلوكوز.

$$\text{mol } H_2O \times \overset{\text{النسبة المولية}}{\frac{\text{mol } C_6H_{12}O_6}{\text{mol } H_2O}} \times \overset{\text{الكتلة المولية}}{\frac{\text{g } C_6H_{12}O_6}{\text{mol } C_6H_{12}O_6}} = \text{g } C_6H_{12}O_6$$

3 احسب

استخدمِ الجدولَ الدوريَّ لحسابِ الكتلةِ الموليةِ لـ $C_6H_{12}O_6$.

$$C_6H_{12}O_6 = 180.18 \text{ g/mol}$$

$$3.00 \text{ mol } H_2O \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{6 \text{ mol } H_2O} \times \frac{180.18 \text{ g } C_6H_{12}O_6}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} = 90.1 \text{ g } C_6H_{12}O_6$$

4 قيِّم

يقرّبُ الرقمُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ صحيحة، لتنسجمَ مع $3.00 \text{ mol } H_2O$. والوحداتُ التي اختُصِرتْ في المسألةِ السابقةِ تبقي $\text{g } C_6H_{12}O_6$ مكانَها كوحدةٍ في الجوابِ تطابقُ وحدةَ المجهول.

مسألةٌ نموذجية 3-3

ما كتلةُ ثنائي أكسيدِ الكربون بالجرام التي تلزمُ لتتحدَ مع 3.00 mol من الماء في تفاعلِ البناءِ الضوئيِّ المذكورِ في المسألةِ النموذجية 2-3؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: كمية H_2O = 3.00 mol

المجهول: كتلة CO_2 بالجرام

2 خطِّط

تكونُ المعادلةُ الكيميائيةُ في المسألةِ النموذجيةِ 2-3:

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$$

يلزمُ لحلِّ المسألةِ معاملا تحويل، هما النسبةُ الموليةُ لـ CO_2 إلى الماء، والكتلةُ الموليةُ لـ CO_2.

$$\text{mol } H_2O \times \overset{\text{النسبة المولية}}{\frac{\text{mol } CO_2}{\text{mol } H_2O}} \times \overset{\text{الكتلة المولية}}{\frac{\text{g } CO_2}{\text{mol } CO_2}} = \text{g } CO_2$$

3 احسب

استخدمِ الجدولَ الدوريَّ لحسابِ الكتلةِ الموليةِ لـ CO_2.

$$CO_2 = 44.01 \text{ g/mol}$$

$$3.00 \text{ mol } H_2O \times \frac{6 \text{ mol } CO_2}{6 \text{ mol } H_2O} \times \frac{44.01 \text{ g } CO_2}{\text{mol } CO_2} = 132 \text{ g } CO_2$$

4 قيِّم

يقرّبُ الجوابُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ صحيحة، لتنسجمَ مع $3.00 \text{ mol } H_2O$. تُختصرُ الوحداتُ ويبقى فقط $\text{g } CO_2$ وهو المجهول.

تمارينُ تطبيقية

1. عندما يحترقُ المغنيسيوم في الهواءِ يتحدُ مع الأكسجينِ لتكوينِ أكسيدِ المغنيسيوم وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s)$$

ما كتلةُ أكسيدِ المغنيسيوم بالجراماتِ الناتجةِ من 2.00 mol من المغنيسيوم؟

2. ما كتلةُ الأكسجينِ بالجراماتِ التي تتحدُ مع 2.00 mol من المغنيسيوم في التفاعلِ السابق؟

3. ما كتلةُ الجلوكوزِ الناتجةُ في تفاعلِ بناءٍ ضوئيٍّ يستخدمُ 10 mol من ثاني أكسيدِ الكربون؟

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_6(aq) + 6O_2(g)$$

الجواب

.1 80.6 g MgO

.2 32.0 g O_2

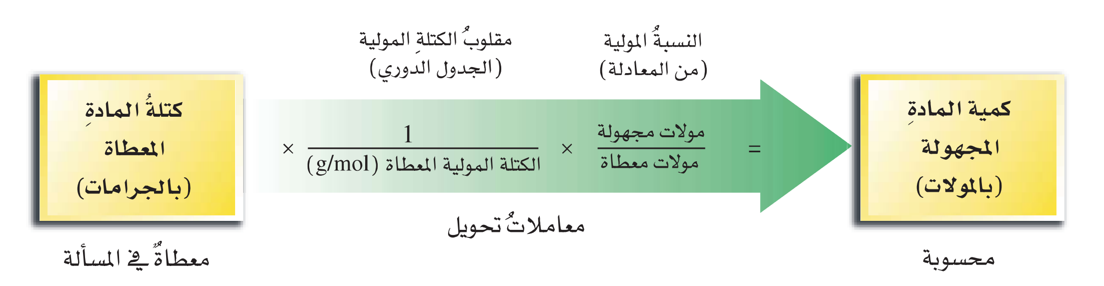
.3 300 g $C_6H_{12}O_6$

تحويلُ كتلةٍ إلى كميةٍ بالمول

يُطلَبُ في مثلِ هذا النوعِ من الحساباتِ الكيميائيةِ حسابُ الكميةِ بالمولاتِ لإحدى الموادِّ التي تتفاعلُ أو تَنتجُ من كتلةٍ معطاةٍ من مادةٍ أخرى. في مثلِ هذه المسائلِ تبتدئُ بكتلةٍ (مقيسةٍ ربما بالجرامات) من مادةٍ معينة. الإجراءُ الذي ستتخذُهُ للحلِّ هو التالي:

كتلةُ المادةِ المعطاة (بالجرامات) ← كمية المادة المعطاة (بالمولات) ← كمية المادة المجهولة (بالمولات)

ويلزمُ أيضًا لهذا الحلِّ معلومتانِ إضافيتان: الكتلةُ الموليةُ للمادةِ المعطاةِ والنسبةُ المولية. تحدَّدُ الكتلةُ الموليةُ باستخدامِ الكتلِ من الجدولِ الدوري. لتحويلِ كتلةِ مادةٍ إلى مولاتٍ يُستخدَمُ معاملُ التحويلِ المسمّى الكتلةَ الموليةَ المعكوسة، وهي تساوي مقلوبَ الكتلةِ المولية ($\frac{1}{\text{الكتلة المولية}}$). لحلِّ مثلِ هذا النوعِ من المسائلِ تُضرَبُ الكميةُ المعلومةُ أو تُقسَمُ على معاملِ التحويلِ المناسبِ كما يلي:



الشكل 3-3 إجراءاتُ الحلِّ في المسائلِ التي تقاسُ فيها الكميةُ المعطاةُ بالجراماتِ وتقاسُ فيها الكميةُ المجهولةُ بالمولات.

مسألةٌ نموذجية 4-3

من الخطواتِ الأولى في تصنيعِ حمضِ النيتريك أكسَدَةُ الأمونيا المحفَّزة.

$$NH_3(g) + O_2(g) \rightarrow NO(g) + H_2O(g)$$ (غير موزونة)

يتمُّ التفاعلُ باستعمالِ 824 g من الأمونيا NH_3 مع وفرةٍ من الأكسجين.

أ. كم مولاً من NO يتكوّنُ في التفاعل؟

ب. كم مولاً من H_2O يتكوّنُ في التفاعل؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: كتلة NH_3 = 824 g

المجهول: أ. كميةُ NO الناتجةُ بالمولات

ب. كميةُ H_2O الناتجةُ بالمولات

2 خطّط

اكتبْ أولاً المعادلة الموزونة:

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

نحتاجُ هنا إلى معاملَيْ تحويل لحلِّ الجزء (أ) من المسألة: الكتلةُ الموليةُ لـ NH_3، والنسبةُ الموليةُ لـ NO إلى NH_3. وللجزءِ (ب) نحتاجُ إلى الكتلةِ الموليةِ لـ NH_3 وإلى النسبةِ الموليةِ لـ H_2O إلى NH_3. معاملُ التحويلِ الأول في كلِّ جزءٍ هو مقلوبُ الكتلةِ الموليةِ لـ NH_3.

أ. (مقلوب الكتلة المولية، النسبة المولية)

$$g\ NH_3 \times \frac{1\ mol\ NH_3}{g\ NH_3} \times \frac{mol\ NO}{mol\ NH_3} = mol\ NO$$

ب. (مقلوب الكتلة المولية، النسبة المولية)

$$g\ NH_3 \times \frac{1\ mol\ NH_3}{g\ NH_3} \times \frac{mol\ H_2O}{mol\ NH_3} = mol\ H_2O$$

3 احسب

استخدمِ الجدولَ الدوريّ لحسابِ الكتلةِ الموليةِ لـ NH_3.

$$NH_3 = 17.04\ g/mol$$

أ.

$$824\ \cancel{g\ NH_3} \times \frac{1\ \cancel{mol\ NH_3}}{17.04\ \cancel{g\ NH_3}} \times \frac{4\ mol\ NO}{4\ \cancel{mol\ NH_3}} = 48.4\ mol\ NO$$

ب.

$$824\ \cancel{g\ NH_3} \times \frac{1\ \cancel{mol\ NH_3}}{17.04\ \cancel{g\ NH_3}} \times \frac{6\ mol\ H_2O}{4\ \cancel{mol\ NH_3}} = 72.6\ mol\ H_2O$$

4 قيّم

وُضعتِ الأجوبةُ بثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ صحيحة. وقد اختُصِرَتِ الوحداتُ في المسألتين، وبقيَ mol NO و $mol\ H_2O$، وهما المجهولان.

تمارينُ تطبيقية

اكتشفَ جوزيف بريستلي الأكسجينَ سنة 1774 عندما سخّنَ أكسيدَ الزئبقِ (II) وتفككَ إلى عناصرِه المكوِّنة.

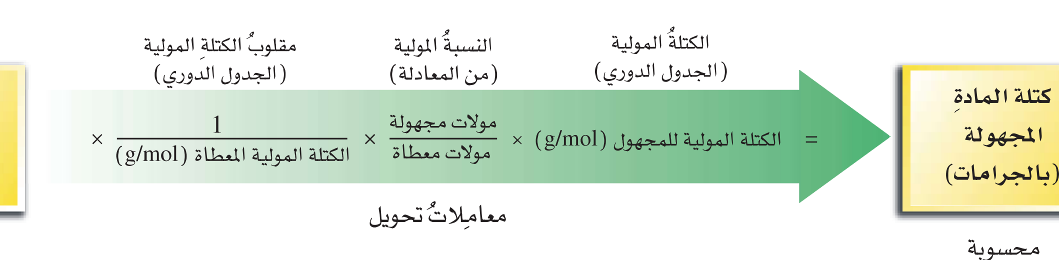
1. كم مولاً من أكسيدِ الزئبق (II) HgO نحتاجُ للحصولِ على 125 g من الأكسجين O_2؟

2. كم مولاً من الزئبقِ يَنْتُجُ في هذا التفاعل؟

الجواب

1. 7.81 mol HgO

2. 7.81 mol Hg



الشكل 4-3 إجراءاتُ الحلِّ للمسائلِ التي توصفُ بها الكمياتُ المعطاةُ بالجرامات. والكمياتُ المجهولةُ توصفُ أيضًا بالجرامات.

حساباتُ الكتلةِ-الكتلة

تُطبَّقُ حساباتُ الكتلةِ-الكتلةِ عادةً أكثرَ من أيِّ حساباتٍ أخرى درَستَها في مجالِ حساباتِ المولات. لا يمكنُ قياسُ المولاتِ مباشرةً، لذا يتمُّ حسابُ كميةِ المادةِ بالمولاتِ انطلاقًا من كتلتِها التي يمكنُ قياسُها في المختبر. يمكنُ اعتبارُ مسائلِ الكتلةِ-الكتلةِ كتجميعٍ للأنواعِ الأخرى من المسائل. وإجراءُ الحلِّ لهذه المسائلِ تتبعُ المخططَ التالي:

كتلةُ المادةِ المعطاة (بالجرامات) ← كمية المادة المعطاة (بالمولات) ← كمية المادة المجهولة (بالمولات) ← كتلة المادة المجهولة (بالجرامات)

ولحلِّ هذه المسائلِ يلزمُ توفُّرُ معطياتٍ ثلاثةٍ هي: الكتلةُ الموليةُ للمادةِ المعطاة، والنسبةُ المولية، والكتلةُ الموليةُ للمادةِ المجهولة.

مسألةٌ نموذجية 5-3

يُستعمَلُ فلوريدُ القصدير (II)، SnF_2 في تصنيعِ بعضِ معاجينِ الأسنان. ويحضَّرُ من خلالِ تفاعلِ القصديرِ مع فلوريدِ الهيدروجينِ وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$Sn(s) + 2HF(g) \longrightarrow SnF_2(s) + H_2(g)$$

ما كتلةُ SnF_2 بالجرامِ الناتجةُ عن تفاعلِ 30.00 g من HF مع Sn؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: كتلةُ HF = 30.00 g

المجهول: كتلةُ SnF_2 الناتجةُ بالجرام

2 خطِّط

معامِلا التحويلِ المطلوبانِ هما: الكتلةُ الموليةُ لـ HF ولـ SnF_2، والنسبةُ الموليةُ لـ SnF_2 إلى HF.

$$g\ HF \times \underbrace{\frac{1\ mol\ HF}{g\ HF}}_{\text{مقلوب الكتلة المولية}} \times \underbrace{\frac{mol\ SnF_2}{mol\ HF}}_{\text{النسبة المولية}} \times \underbrace{\frac{g\ SnF_2}{mol\ SnF_2}}_{\text{الكتلة المولية}} = g\ SnF_2$$

3 احسب استعملِ الجدولَ الدوريَّ لحسابِ الكتلةِ الموليةِ لكلٍّ من HF و SnF_2.

$HF = 20.01\ g/mol$

$SnF_2 = 156.71\ g/mol$

$$30.00\ g\ HF \times \frac{1\ mol\ HF}{20.01\ g\ HF} \times \frac{1\ mol\ SnF_2}{2\ mol\ HF} \times \frac{156.71\ g\ SnF_2}{1\ mol\ SnF_2} = 117.5\ g\ SnF_2$$

4 قيِّم قُرِّبَ الجوابَ إلى أربعةِ أرقامٍ معنويةٍ صحيحة. اختُصرتِ الوحداتُ ليبقى $g\ SnF_2$ المطلوبُ حسابُه.

تمارينُ تطبيقية

1. يُستخدَمُ الغازُ المضحِكُ (أكسيد النيتروز، N_2O) أحيانًا كمادةٍ مخدرةٍ في طبِّ الأسنان. ينتجُ هذا الغازُ من تفكك نيتراتِ الأمونيوم وفقًا للتفاعلِ التالي:

$$NH_4NO_3(s) \rightarrow N_2O(g) + 2H_2O(l)$$

أ. ما كتلةُ NH_4NO_3 بالجرامِ اللازمةُ لإنتاج 33.0 g من N_2O؟

ب. كم جرامًا من الماءِ ينتُجُ في هذا التفاعل؟

2. عند إضافةِ عنصرِ النحاس إلى محلولِ نيتراتِ الفضةِ ينتُجُ عنصرُ الفضةِ ونيتراتُ النحاسِ (II). ما كتلةُ الفضةِ الناتجةِ من تفاعلِ .100 g من Cu؟

الجواب

1. أ. $60.0\ g\ NH_4NO_3$

ب. $27.0\ g\ H_2O$

2. 339 g

مراجعةُ القسم 2-3

1. يمكنُ تمثيلُ أحدِ التفاعلاتِ المُنتجةِ لغازِ الهيدروجين بالمعادلةِ غيرِ الموزونةِ التالية:

$$Mg(s) + HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

أ. ما كتلةُ HCl اللازمةُ لتفاعلِه مع 2.5 mol من المغنيسيوم؟

ب. ما كتلةُ كلِّ ناتجٍ في الجزء (أ)؟

2. يتمُّ الحصولُ على غازِ الأسيتيلين (C_2H_2) كنتيجةٍ للتفاعلِ التالي:

$$CaC_2(s) + 2H_2O(l) \rightarrow C_2H_2(g) + Ca(OH)_2(aq)$$

أ. إذا استُهلِكَ 32.0 g من CaC_2 في هذا التفاعل، فكم مولاً نحتاجُ من H_2O؟

ب. كم مولاً يتكوّنُ من كلِّ ناتج؟

القسم 3-3

المتفاعلاتُ المُحدِّدةُ والنسبةُ المئويةُ للمردود

مؤشراتُ الأداء

- يشرحُ طريقةً لتحديدِ أيِّ المتفاعلاتِ هو المُحدِّد.
- يحسبُ كميةَ الناتجِ بالمولاتِ أو الجراماتِ بمعرفتِهِ متفاعلين أحدُهما فائض.
- يميِّزُ بين المردودِ النظريِّ والمردودِ الفعليِّ والنسبةِ المئويةِ للمردود.

لا يجري التفاعلُ الكيميائيُّ في المختبرِ عادةً بالكمياتِ اللازمةِ بالقدرِ التامِّ من المتفاعلات. في معظمِ الأحيانِ تُستخدَمُ كميةٌ وافرةٌ من واحدٍ من المتفاعلاتِ دون غيرِه. وهذا يعني أن التفاعلَ يحدثُ عادةً بكميةٍ من المتفاعل (المتفاعلات) أكثرَ من اللازم. من ناحيةٍ أخرى، بمجرّدِ نفادِ أحدِ المتفاعلاتِ أو استهلاكِهِ خلالَ التفاعلِ يتوقّفُ تكوُّنُ الناتج. ***المادةُ التي تَنفَدُ أو تُستهلَكُ أولاً تُسمَى المتفاعلَ المحدِّد. المتفاعلُ المُحدِّدُ limiting reactant هو المادةُ المتفاعلةُ التي تُحدِّدُ كميةَ المتفاعلاتِ الأخرى، وتحدِّدُ بالتالي كميةَ الناتجِ المتكوِّنِ في التفاعلِ الكيميائي. والمادةُ التي لا تُستهلَكُ تمامًا في التفاعلِ تسمّى المتفاعلَ الفائضَ excess reactant. قد يطلقُ على المتفاعلِ المحدِّدِ أحيانًا اسمَ الكاشفِ المحدِّد limiting reagent.***

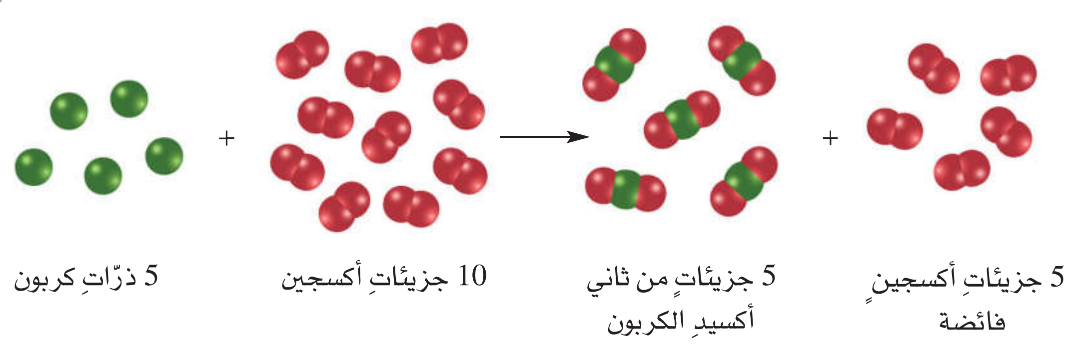
يفيدُ مفهومُ المتفاعلِ المحدِّدِ ما يشبهُ تلكَ العلاقةَ بين عددِ المسافرينَ الراغبينَ في السفرِ على طائرةٍ معيّنةٍ وبين عددِ المقاعدِ المتوافرةِ على متنِ هذه الطائرة. فإذا كان عددُ المسافرينَ 400 شخص وعددُ المقاعدِ المتوفرة 350 مقعدًا، يسافرُ 350 شخصًا فقط ويبقى 50 شخصًا على قائمةِ الانتظار. فعددُ المقاعدِ على الطائرةِ حدَّدَ عددَ المسافرين.

يطبَّقُ هذا المفهومُ نفسُهُ على التفاعلاتِ الكيميائية. لنأخذْ مثلاً التفاعلَ بين الأكسجين والكربونِ لتكوينِ ثاني أكسيدِ الكربون.

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$$

وفقًا للمعادلة، يتفاعلُ مولٌ واحدٌ من الكربونِ مع مولٍ من غازِ الأكسجين لتكوينِ مولٍ من ثاني أكسيدِ الكربون. لكن افترضْ أنك مزجتَ 5 mol من C مع 10 mol من O_2 في أحدِ التفاعلات، فكما يُبيِّنُ الشكل 3-5، هناك كميةٌ وافرةٌ من الأكسجين تزيدُ عن حاجةِ التفاعلِ مع الكربون. الكربونُ إذن هو المتفاعلُ المُحدِّدُ في هذه الحالة، وهو الذي يحدِّدُ كمية CO_2 المتكوِّنة، والأكسجينُ هو المتفاعلُ الفائضُ وسيبقى 5 mol منه فائضًا في نهايةِ التفاعل.

الشكل 3-5 إذا اعتبرتَ أنَّ عددَ الجزيئاتِ والذرّاتِ يعبِّرُ عن عددِ المولات، يمكنُكَ أن ترى سببَ فائضِ الأكسجين.



مسألةٌ نموذجية 6-3

ثاني أكسيدِ السيليكون (الكوارتز) مادةٌ غيرُ نشطةٍ عادةً، لكنها تتفاعلُ بسرعةٍ مع فلوريدِ الهيدروجين وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$SiO_2(s) + 4HF(g) \rightarrow SiF_4(g) + 2H_2O(l)$$

إذا تفاعلَ 2.0 mol من HF مع 4.5 mol من SiO_2، فأيُّهما يكونُ المتفاعلَ المحدّد؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: كمية HF = 2.0 mol

كمية SiO_2 = 4.5 mol

المجهول: المتفاعلُ المحدِّد

2 خطّط

تُستخدَمُ الكميةُ المعطاةُ من أيٍّ من المتفاعلَيْنِ لحسابِ كميةِ أحدى النواتج. في الظروف المثالية أقل كمية من الناتج هي التي تحدد المتفاعلِ المحدِّد.

3 احسب

ناتج

$$\text{mol HF} \times \frac{\text{mol SiF}_4}{\text{mol HF}} = \text{mol SiF}_4$$

$$\text{mol SiO}_2 \times \frac{1\text{mol SiF}_4}{\text{mol SiO}_2} = \text{mol SiF}_4$$

$$2\ \text{mol HF} \times \frac{1\text{mol SiF}_4}{4\ \text{mol HF}} = 0.5\text{mol SiF}_4$$

$$4.5\ \text{mol SiO}_2 \times \frac{1\text{mol SiF}_4}{1\ \text{mol SiO}_2} = 4.5\text{mol SiF}_4$$

4 قيّم

في الظروف المثالية: 2.0 mol من HF تكوّن 0.50 mol من SiF_4

و 4.5 mol من SiO_2 تكوّن 4.5 mol من SiF_4

بماأن HF تكوّن أقل كمية من الناتج لذلك HF تُعتبر المتفاعلُ المحدِّدُ

تمارينُ تطبيقية

1. تَستخدِمُ بعضُ محركاتِ الصواريخِ خليطًا من الهيدرازين N_2H_4 ومن فوق أكسيدِ الهيدروجين H_2O_2 كوقودٍ وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$N_2H_4(l) + 2H_2O_2(l) \rightarrow N_2(g) + 4H_2O(g)$$

أ. أيُّ المتفاعلينِ هو المتفاعلُ المحدِّدُ في هذا التفاعلِ لدى خلطِ 0.750 mol من N_2H_4 مع 0.500 mol من H_2O_2؟

ب. ما كميةُ المتفاعلِ الفائضِ بالمولات؟

ج. كم مولاً يتكوَّنُ من كلٍّ من الناتجين؟

الجواب

1. أ. H_2O_2

ب. 0.500 mol من N_2H_4

ج. 0.250 mol من N_2،

1.00 mol من H_2O

النسبةُ المئويةُ للمردود

تمثلُ كميّاتُ الناتجِ المحسوبةُ في مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ في هذا الفصلِ المردودَ النظري. **المردودُ النظريُّ theoretical yield** ***يعني الكميةَ القصوى من الناتجِ التي يمكنُ الحصولُ عليها نظريًا من خلالِ الحساباتِ الكيميائية.*** وتكونُ كميةُ الناتجِ التي يُحَصَلُ عليها في معظمِ التفاعلاتِ الكيميائيةِ أقلَّ من المردودِ النظري. هناك أسبابٌ متعددةٌ لذلك، منها اشتراكُ المتفاعلِ في تفاعلاتٍ جانبيةٍ تنافسيةٍ تستهلكُ قسمًا منهُ وتقللُ من كميةِ الناتج. كذلك يكونُ الناتجُ في كثيرٍ من الأحيانِ غيرَ نقيٍّ فيُفقَدُ جزءٌ منه خلالَ عمليةِ التنقية. ***تسمّى الكميةُ المقيسةُ من ناتجِ التفاعلِ الكيميائيِّ*** **المردودَ الفعليَّ actual yield** ***للناتج.*** يهتمُّ الكيميائيونَ عادةً بما يسمى جدوى التفاعل، وهو ما يُعبَّرُ عنه بمقارنةِ المردودِ النظريِّ بالمردودِ الفعلي. ***ونسبةُ المردودِ الفعليِّ إلى المردودِ النظريِّ مضروبةً بـ 100 تسمّى*** **النسبةَ المئويةَ للمردود percent yield.**

$$\text{النسبةُ المئويةُ للمردود} = \frac{\text{المردود الفعلي}}{\text{المردود النظري}} \times 100$$

مراجعةُ القسم 3-3

1. يحترقُ ثاني كبريتيدِ الكربون في الأكسجين ليعطيَ ثنائيَ أكسيدِ الكربون وثنائيَ أكسيدِ الكبريت وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$CS_2(l) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g)$$

أ. إذا اتحدَ مولٌ واحدٌ من CS_2 مع مولٍ واحدٍ من O_2، فأيُّهما المتفاعلُ المحدِّد؟

ب. ما عددُ مولاتِ المتفاعلِ الفائضِ المتبقية؟

ج. كم مولاً يتكوّنُ من كلِّ ناتج؟

مراجعةُ الفصل 3

ملخّصُ الفصل

1-3

- تتضمّنُ الحساباتُ الكيميائيةُ، في عمليةِ التفاعلِ الكيميائي، العلاقةَ الكتلية بين المتفاعلاتِ والنواتج.
- النسبةُ الموليةُ هي مُعامِلُ تحويلٍ يربطُ بين الكميةِ بالمولاتِ لأيِّ مادتين في تفاعلٍ كيميائي. وتُشتقُّ النسبةُ الموليةُ من المعادلةِ الموزونة.
- يعبَّرُ عن كميةِ مادةٍ بالمولاتِ، ويعبَّرُ عن كتلةِ مادةٍ بوحداتِ قياسِ الكتلة، كالجرامِ والكيلوجرامِ والمليجرام. كتلةُ المادةِ قيمةٌ كمية، أما المولاتُ والجراماتُ فمجرّدُ وحدات.
- المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ ضروريةٌ لحلِّ مسائلِ الحساباتِ الكيميائية.

المفردات

الحساباتُ الكيميائيةُ المبنيةُ على التفاعل (77) reaction stoichiometry

الحساباتُ الكيميائيةُ للتركيب (77) composition stoichiometry

النسبةُ المولية (78) mole ratio

2-3

- في الحساباتِ الكيميائيةِ النظرية (المثالية)، تُحسَبُ كتلةُ أو كميةُ أيِّ مادةٍ متفاعلةٍ أو ناتجةٍ من المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ وبمعرفةِ كتلةِ أو كميةِ أيٍّ من الموادِّ المتفاعلةِ أو الناتجة.

3-3

- في التفاعلاتِ الفعليةِ تتحدُ الموادُّ المتفاعلةُ بنسبٍ تختلفُ عادةً عن النسبِ الدقيقةِ اللازمةِ لإكمالِ التفاعل.
- يسيطرُ المتفاعلُ المحدِّدُ على الكميةِ القصوى المحتملةِ لتكوينِ الناتج.
- لدى توفرِ كمياتٍ معروفةٍ من المتفاعلات، تكونُ كميةُ الناتجِ دائمًا أقلَّ من الكميةِ القصوى المحتملة. تُظهِرُ النسبةُ المئويةُ للمردودِ العلاقةَ بين المردودِ النظريِّ والمردودِ الفعليِّ لناتجٍ معيّنٍ في التفاعل.

$$\text{النسبةُ المئويةُ للمردود} = \frac{\text{المردود الفعلي}}{\text{المردود النظري}} \times 100$$

المفردات

المتفاعلُ الفائض (89) excess reactant

المتفاعلُ المحدِّد (89) limiting reactant

المردودُ الفعليّ (91) actual yield

المردودُ النظريّ (91) theoretical yield

النسبةُ المئويةُ للمردود (91) percent yield

مراجعةُ المفاهيم

1. أ. اشرحْ مفهومَ النسبةِ الموليةِ كما استُخدِمَ في مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ المبنيةِ على التفاعل.
ب. ما مصدرُ هذه النسبة؟

2. اكتبْ لكلٍّ من المعادلاتِ الكيميائيةِ التاليةِ جميعَ النِّسبِ الموليةِ المحتمَلة.
أ. $2Ca + O_2 \rightarrow 2CaO$
ب. $Mg + 2HF \rightarrow MgF_2 + H_2$

3. أ. ما الكتلةُ المولية؟
ب. ما دورُها في الحساباتِ الكيميائيةِ المبنيةِ على التفاعل؟

4. ميِّزْ بين المتفاعلِ الفائضِ والمتفاعلِ المحدِّدِ في تفاعلٍ كيميائي.

5. ميِّزْ بين المردودِ النظريِّ والمردودِ الفعليِّ في الحساباتِ الكيميائية.

6. ما النسبةُ المئويةُ للمردودِ في التفاعلاتِ الكيميائية؟

7. لماذا يَقِلُّ المردودُ الفعليُّ عادةً عن المردودِ النظري؟

مسائل

الحساباتُ الكيميائية

لا تفترضْ أن المعادلاتِ الكيميائيةَ بدونِ معامِلاتٍ تكونُ موزونة.

8. المعطى المعادلةُ الكيميائية:

$$Na_2CO_3(aq) + Ca(OH)_2(s) \rightarrow 2NaOH(aq) + CaCO_3(s)$$

حدِّدِ الكتلَ الموليةَ حتى منزلتين عشريتين لجميعِ الموادِّ الداخلةِ في المعادلة، ثم اكتبْها كمعاملاتِ تحويل.

9. يتفاعلُ الهيدروجينُ والأكسجينُ في ظلِّ ظروفٍ معيّنةٍ لتكوينِ الماءِ وفقًا للتالي:

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$

أ. ما عددُ مولاتِ الهيدروجينِ اللازمِ لإنتاجِ 5.0 mol من الماء؟
ب. ما عددُ مولاتِ الأكسجينِ اللازمِ لإنتاجِ الكميةِ السابقةِ من الماء؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 3-1)

10. أ. إذا اشتعلَ 4.50 mol من الإيثانِ وفقًا للمعادلةِ غيرِ الموزونةِ التالية؟ $C_2H_6 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ فما عددُ مولاتِ الأكسجينِ اللازمةِ للتفاعل؟
ب. كم مولاً يتكوّنُ من كلِّ ناتج؟

11. يجري تكوُّنُ كلوريدِ الصوديومِ من عنصرَيْهِ خلالَ تفاعلِ اتحاد. ما الكتلةُ اللازمةُ لكلِّ متفاعلٍ لإنتاجِ 25.0 mol من كلوريدِ الصوديوم؟

12. ينتجُ الحديدُ عادةً من خامِ الحديدِ خلالَ التفاعلِ التالي في فرنٍ للصهر:

$$Fe_2O_3(s) + CO(g) \rightarrow Fe(s) + CO_2(g)$$

أ. إذا توفرَ 4.00 kg من Fe_2O_3 للتفاعل، فكم مولاً من CO يلزمُ للتفاعل؟
ب. كم مولاً يتكوّنُ من كلِّ ناتج؟

13. الميثانول CH_3OH مادةٌ صناعيةٌ مهمةٌ تُنتَجُ وفقًا للمعادلةِ التالية: $CO(g) + H_2(g) \rightarrow CH_3OH(g)$
احسبْ كتلتَي المتفاعلينِ اللازمتينِ لإنتاجِ 100.0 kg من الميثانول؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 3-5)

14. يتحدُ النيتروجينُ مع الأكسجينِ في الجوِّ أثناءَ البرقِ لتكوينِ أُحادي أكسيدِ النيتروجين NO. ويتحدُ أكسيدُ النيتروجين مرةً أخرى مع O_2 ليكوِّنا ثنائي أكسيدِ النيتروجين NO_2.
أ. ما كتلةُ NO_2 المكوّنةُ من تفاعلِ NO مع 384 g من الأكسجين؟
ب. كم جرامًا من NO يلزمُ للتفاعلِ بين NO والكميةِ نفسِها من O_2؟

15. اقتُرِحَ منذ فترةٍ طويلةٍ استخدامُ NaOH كوسيلةٍ لإزالةِ CO_2 من السفينةِ الفضائيةِ وفقًا للتفاعلِ التالي:

$$NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

أ. إذا كان جسمُ الإنسانِ ينتجُ 925.0 g من CO_2 يوميًا من خلالِ عمليةِ الزفير، فكم مولاً من NaOH يلزمُ للشخصِ في اليومِ الواحدِ داخلَ السفينةِ الفضائيةِ لإزالةِ جميعِ ما يُنتجُ من CO_2؟
ب. كم مولاً يتكوّنُ من كلِّ ناتج؟

16. يُنتِجُ تفاعلُ الاستبدالِ الثنائيِّ بين نيتراتِ الفضةِ وبروميدِ الصوديومِ مادةَ بروميدِ الفضة، وهي أحدُ مكوّناتِ فيلمِ التصويرِ الفوتوغرافي.
أ. إذا تفاعلَ 4.50 mol من نيتراتِ الفضة، فما كتلةُ بروميدِ الصوديومِ اللازمةُ للتفاعل؟
ب. ما كتلةُ بروميدِ الفضةِ المتكوِّنة؟

17. يتفاعلُ حمضُ الكبريتيكِ المركّز، في مطفأةِ الحريق، مع كربوناتِ الصوديومِ الهيدروجينية، وذلك لإنتاجِ ثنائي أكسيدِ الكربونِ وكبريتاتِ الصوديومِ والماء.

أ. كم مولاً من كربوناتِ الصوديومِ الهيدروجينية يلزمُ لتتفاعلَ هذه المادة مع 150.0 g من حمضِ الكبريتيك؟

ب. كم مولاً يتكوّنُ من كلِّ ناتج؟

18. يتفاعلُ حمضُ الكبريتيك مع هيدروكسيدِ الصوديوم وفقًا للمعادلة: $H_2SO_4 + NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$

أ. زِنِ المعادلة.

ب. ما كتلةُ H_2SO_4 اللازمةُ للتفاعلِ مع 0.75 mol من NaOH؟

ج. ما كتلةُ كلِّ ناتج يتكوّنُ في هذا التفاعل؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 3-2)

19. يتفاعلُ النحاسُ مع نيتراتِ الفضةِ خلالَ استبدالٍ أحاديّ.

أ. إذا نتجَ، بهذا التفاعل، 2.25 g من الفضة، فكم يكونُ عددُ مولاتِ نيتراتِ النحاس (II) التي تنتجُ أيضًا؟

ب. ما عددُ مولاتِ كلٍّ من المتفاعلَيْنِ اللازمةِ لهذا التفاعل؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 3-4)

20. خلالَ التفاعلِ التالي ينتجُ الأسبرين $C_9H_8O_4$ من حمضِ الساليسيليك $C_7H_6O_3$ وأنهيدريدِ الأسيتيك $C_4H_6O_3$.

$$C_7H_6O_3(s) + C_4H_6O_3(l) \rightarrow C_9H_8O_4(s) + HC_2H_3O_2(l)$$

أ. ما كتلةُ الأسبيرين (kg) التي يمكنُ إنتاجُها من 75.0 mol من حمضِ الساليسيليك؟

ب. ما الكتلةُ اللازمةُ (kg) من أنهيدريدِ الأسيتيك؟

ج. كم ليترًا من حمضِ الأسيتيك $HC_2H_3O_2$ يتكوّنُ في التفاعل؟ كثافةُ $HC_2H_3O_2$ هي $1.05\ g/cm^3$.

المتفاعلُ المحدِّد

21. لديكَ كمياتُ الموادِّ المتفاعلةِ في كلِّ معادلةٍ كيميائية. عيِّنِ المتفاعلَ المحدِّدَ في كلِّ حالةٍ من الحالاتِ التالية:

أ. $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$
2.0 mol   2.5 mol

ب. $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$
2.5 mol   6.0 mol

(انظرِ المسألةَ النموذجية 3-6)

22. لكلٍّ من التفاعلاتِ المذكورةِ في المسألة 21، حدِّد بالمولاتِ الكميةَ المتبقيةَ من المتفاعلِ الفائض. (انظرِ المسألةَ النموذجية 3-7)

23. احسبْ بالمولاتِ كميةَ كلِّ ناتجٍ في التفاعلاتِ المذكورةِ في المسألة 21.

24. أ. إذا توفرَ 2.50 mol من النحاس و 5.50 mol من نيتراتِ الفضةِ لحدوثِ تفاعلٍ بطريقةِ الاستبدالِ الأحاديّ، فما هويةُ المتفاعلِ المحدِّد؟

ب. حدِّدْ بالمولاتِ كميةَ المتفاعلِ الفائضِ المتبقية.

ج. حدِّدْ كميةَ كلِّ ناتجٍ بالمولات.

النسبةُ المئويةُ للمردود

25. احسبِ الكميتينِ المطلوبتينِ من التفاعلينِ الكيميائيينِ التاليين:

أ. المردودُ النظري = 20.0 g، المردودُ الفعلي = 15.0 g، النسبةُ المئويةُ للمردود =؟

ب. المردودُ النظري = 1.0 g، النسبةُ المئويةُ للمردود = 90.0%، المردودُ الفعلي =؟

مراجعةٌ متنوعة

26. نحصُلُ على المغنيسيوم من ماءِ البحر بإضافةِ $Ca(OH)_2$ إلى ماءِ البحرِ لترسيبِ $Mg(OH)_2$. يصفّى الراسبُ بعدئذٍ ويتفاعلُ مع HCl لتكوينِ $MgCl_2$. يُحلَّلُ $MgCl_2$ كهربائيًّا لإنتاجِ Mg و Cl_2. إذا استُخلِصَ 185.0 g من المغنيسيوم من 1000.0 g من $MgCl_2$، فما النسبةُ المئويةُ لمردودِ هذا التفاعل؟

27. يتكوّنُ مسحوقُ الخبيزِ الفوسفاتيُّ من خليطٍ من النشا وكربوناتِ الصوديومِ الهيدروجينية وفوسفاتِ الكالسيوم ثنائيِّ الهيدروجين. يُطلِقُ هذا المسحوق، عند مزجِهِ بالماء، غازَ ثاني أكسيدِ الكربون الذي ينتجُ عنه فقاعاتٌ هوائيةٌ وانتفاخٌ للعجينة.

$$2NaHCO_3(aq) + Ca(H_2PO_4)_2(aq) \rightarrow 2Na_2HPO_4(aq) + CaHPO_4(aq) + 2CO_2(g) + 2H_2O(l)$$

إذا احتجتَ إلى 0.750 L من CO_2 لتصنعَ كعكة، وعلمتَ أن كلَّ كيلوجرامٍ من مسحوقِ الخبيزِ يحتوي على 168 g من $NaHCO_3$، فكم جرامًا من مسحوقِ الخبيزِ يلزمُ لتوليدِ هذه الكميةِ من CO_2؟ كثافةُ CO_2 عند درجةِ حرارةِ الخبيزِ هي 1.20 g/L.

.28 تغويزُ الفحمِ gasification هو عمليةُ تحويلِ الفحمِ إلى غازِ الميثان. إذا كانتِ النسبةُ المئويةُ للمردودِ في هذه العملية 85.0%، فكم تكونُ كتلةُ الميثانِ التي نحصُلُ عليها من 1250 g من الكربون؟

$$2C(s) + 2H_2O(l) \rightarrow CH_4(g) + CO_2(g)$$

.29 يخزنُ البناؤون وأطباءُ الأسنانِ مادةَ الجصِّ $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ (plaster of Paris) في حاوياتٍ محكَمةِ الغلقِ لمنعِها من امتصاصِ بخارِ الماءِ من الهواءِ وتحوُّلِها إلى جبس (gypsum)، $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. كم ليترًا من الماء يتحرّرُ عند تسخينِ 5.00 L من الجبسِ إلى درجةِ الحرارة 110°C؟ كثافةُ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ هي 2.32 g/mL وكثافةُ بخارِ الماء 0.581 g/mL.

.30 يمكنُ استخلاصُ الذهبِ من ماءِ البحرِ من خلالِ تفاعلِ الماءِ مع الخارصينِ المستخلصِ من أكسيدِ الخارصين. يحُلُّ الخارصينُ محلَّ الذهبِ في الماء. ما كتلةُ الذهبِ التي تستخلصُ إذا استخدمنا 2.00 g من أكسيدِ الخارصين ZnO مع كميةٍ وافرةٍ من ماءِ البحر؟

$$2ZnO(s) + C(s) \rightarrow 2Zn(s) + CO_2(g)$$

$$2Au^{3+}(aq) + 3Zn(s) \rightarrow 3Zn^{2+}(aq) + 2Au(s)$$

تفكيرٌ ناقد

.31 ربطُ أفكار: المعادلةُ الكيميائيةُ هي مصدرٌ جيدٌ للمعلوماتِ المتعلقةِ بالتفاعل. اشرحِ العلاقةَ القائمةَ بين المردودِ الفعليِّ لناتجٍ معيَّنٍ وبين المعادلةِ الكيميائيةِ لذلك الناتج.

.32 تحليلُ نتائج: قلّما يحققُ الكيميائيونَ، في تفاعلٍ كيميائيّ، مردودًا تامًّا من الناتج (أي 100%)، علمًا أن المردودَ مهمٌّ بسببِ كلفةِ إنتاجِ ناتجٍ أقلَّ من المطلوب. على سبيلِ المثال، عند تسخينِ معدنِ المغنيسيوم في جفنةٍ إلى درجةِ حرارةٍ عاليةٍ يتكوّنُ أكسيدُ المغنيسيوم MgO كناتج. اعتمادًا على تحليلِك للتفاعل، صفْ بعضَ الإجراءاتِ التي يمكنُ اتخاذُها لزيادةِ النسبةِ المئويةِ للمردود، مع التفاعلِ التالي:

$$2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s)$$

.33 تحليلُ نتائج: تَجري في المختبرِ تجربةٌ تبدو فيها النسبةُ المئويةُ للمردودِ 115%. ما أسبابُ هذه النتيجة؟ هل يمكنُ أن يزيدَ المردودُ الفعليُّ عن المردودِ النظري؟ وضِّحْ إجابتَك.

بحثٌ وكتابة

.34 زُرْ مصنعًا قريبًا، ثم اكتبْ تقريرًا عن أحدِ المنتجاتِ الصناعية، مبيِّنًا مفهومَ النسبةِ المئويةِ للمردود وعلاقتَها بدراسةِ الجدوى الاقتصادية.

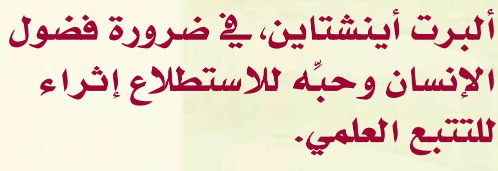
الوحدة

2

حالاتُ المادة

الفصول





ألبرت أينشتاين، في ضرورة فضول الإنسان وحبِّه للاستطلاع إثراء للتتبع العلمي.

من الضروري عدم التوقف عن التساؤل، فحب الاستطلاع يملك أسبابه الذاتية التي أتاحت له الوجود. والمرء لا يسعه إلا أن يصيبه الرعب عندما يتأمل في أسرار الأبدية، والحياة، والبنية الرائعة للحقيقة. وقد يكون كافيًا أن يحاول المرء إدراك القليل من هذه الأسرار كل يوم، وألا يفقد حب الاستطلاع المقدس أبدًا.

(ألبرت أينشتاين)



الخصائصُ الفيزيائيةُ للغازات

تقلُّ كثافةُ الغازِ بارتفاعِ درجةِ حرارته

نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ للمادة

القســـم 1-4

مؤشراتُ الأداء

- يذكرُ نصَّ نظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ للمادة.
- يذكرُ الفرضياتِ الخمسَ لنظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ للغازات.
- يصفُ كلاً من الخصائص المميِّزةِ للغازات: التمددِ والكثافةِ والميوعةِ والانضغاطِ والانتشارِ والتدفق.
- يصفُ الظروفَ التي ينحرفُ فيها الغازُ الحقيقيُّ عن السلوكِ «المثالي».

تعلّمتَ في الفصل 1 من كتابِ الصفِّ العاشر، أن المادةَ توجدُ في حالاتٍ ثلاث: صلبةٍ وسائلةٍ وغازية. وعلى الرغم من الصعوبةِ في ملاحظةِ سلوكِ الجسيماتِ المنفردةِ بشكلٍ مباشر، درسَ العلماءُ التجمُّعاتِ الكبيرةَ لهذه الجسيمات، وهي في الحالاتِ الثلاث (الصلبةِ والسائلةِ والغازية).

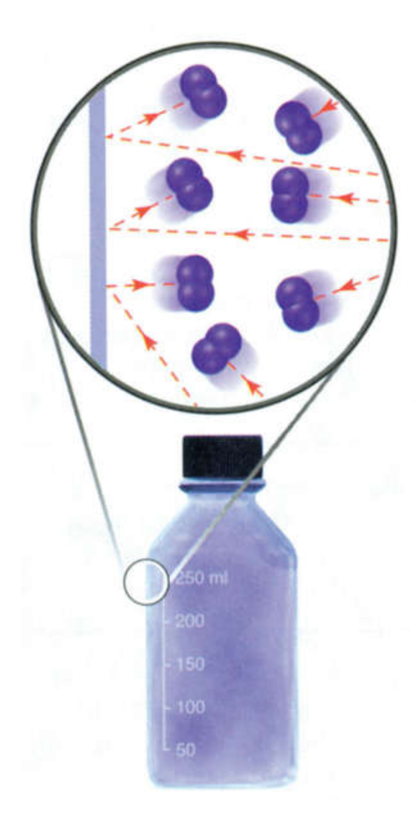
وفي نهايةِ القرنِ التاسعَ عشرَ طوَّرَ العلماءُ نظريةَ الحركةِ الجزيئيةِ لتوصيفِ سلوكِ ذرّاتِ المادةِ وجزيئاتِها. ***ترتكزُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ* kinetic-molecular theory *على فكرةٍ تقول: إن جسيماتِ المادةِ في حركةٍ دائمة.*** وتُستخدمُ هذه النظريةُ لتفسيرِ خصائص الموادِّ الصلبةِ والسائلةِ والغازية، على أساسِ طاقةِ الجسيماتِ والقوى المؤثرةِ بينها. وفي هذا الجزءِ ستدرسُ النظريةَ مطبّقةً على الجزيئاتِ الغازيةِ، وهي تُسمّى بنظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ للغازات.

نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ للغازات

تساعدُكَ هذه النظريةُ على فهمِ سلوكِ جزيئاتِ الغازاتِ وخصائصِها الفيزيائية. تقدّمُ النظريةُ نموذجًا لما يُسمّى الغازَ المثالي. **والغازُ المثالي ideal gas *هو غازٌ افتراضيٌ يحقّقُ تمامًا فرضياتِ نظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ كافّة.***

تستندُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ للغازاتِ إلى الفرضياتِ الخمسِ التالية:

1. ***تتألفُ الغازاتُ من أعدادٍ كبيرةٍ من الجسيماتِ المتناهيةِ الصغرِ والبعيدةِ عن بعضِها، مقارنةً بحجمِها.*** وينتجُ عن ذلك أن معظمَ الحجمِ الذي يحتلُّهُ الغازُ فضاءٌ فارغ، وهذا يعلِّلُ الكثافةَ المنخفضةَ للغازات، بالمقارنةِ مع كثافةِ السوائلِ والموادِّ الصلبة. كذلك تفسِّرُ هذه الفرضيةُ سهولةَ انضغاطِ الغازات.
2. ***التصادمُ بين جسيماتِ الغازِ، واصطدامُها بجدرانِ الوعاءِ، كلٌّ منهما تصادمٌ من النوعِ المرن.* والتصادمُ المرنُ elastic collision *هو التصادمُ الذي لا يرافقُهُ فقدانٌ للطاقةِ الحركيةِ الكلّية.*** فمعه تنتقلُ الطاقةُ الحركيةُ بين جسيمينِ خلالَ عمليةِ التصادم، فيما يبقى مجموعُ طاقتِهما الحركية الكلّية ثابتًا لا يتغيرُ ما دامَتْ درجةُ الحرارةِ ثابتة.
3. ***تكونُ جسيماتُ الغازِ في حالةِ حركةٍ دائمةٍ سريعةٍ وعشوائيةٍ في جميعِ الاتجاهات،*** كما يظهرُ في الشكل 1-4، ***ولذلك تمتلكُ طاقةً حركية.*** وتتغلّبُ الطاقةُ الحركيةُ للجسيماتِ على قوى التجاذبِ بينها، إلا في حالِ اقترابِ الغازِ من درجةِ الحرارةِ التي يتكاثفُ عندها ليصبحَ سائلاً.



الشكل 1-4 تتحرَّكُ جسيماتُ الغازِ في خطوطٍ مستقيمة إلى أن تتصادمَ، أو تصطدمَ بجدرانِ الوعاء.

4. ***لا يوجدُ قوى تجاذبٍ أو تنافرٍ بين جسيماتِ الغاز.*** (يمكن تصوُّرُ جزيئاتِ غازٍ مثاليّ، تسلكُ سلوكَ كراتِ بلياردو صغيرة، تتصادمُ ولا تتلاصق، بل ترتدُّ مبتعدةً بشكلٍ تلقائيّ عند اصطدامها).
5. يعتمدُ معدلُ الطاقةِ الحركيةِ لجزيئاتِ الغازِ على درجةِ حرارتِها. ويعبَّرُ عن الطاقةِ الحركيةِ للأجسامِ المتحركةِ عموماً، وجسيماتِ الغازِ خصوصًا، بالمعادلةِ التالية:

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

حيث m تمثِّلُ كتلةَ الجسيم، و v سرعتَه.

ولأنَّ جسيماتِ غازٍ ما جميعُها لها الكتلةُ نفسُها، فإن طاقاتِها الحركيةَ تعتمدُ على سرعاتِها فقط. ويزدادُ معدلُ السرعاتِ والطاقاتِ الحركيةِ لجسيماتِ غازٍ ما مع ارتفاعِ درجةِ الحرارة، ويقلُّ بانخفاضِها.

عند درجةِ الحرارةِ نفسِها، يكونُ معدلُ الطاقةِ الحركيةِ لجميعِ الغازاتِ واحدًا. لذلك، يكونُ لجسيماتِ الغازِ الخفيفِ (كجزيئاتِ الهيدروجين) معدلُ سرعاتٍ أعلى من معدلِ سرعاتِ الجسيماتِ الأثقل (كجزيئاتِ الأكسجين)، عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها.

نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ وطبيعةُ الغازات

تنطبقُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ على الغازاتِ المثاليةِ فقط. ولكن على الرغمِ من أن الغازاتِ المثاليةَ غيرُ موجودةٍ فعلاً، فإن العديدَ من الغازاتِ تسلكُ سلوكًا مثاليًّا تقريبًا، إنْ لم يكنْ ضغطُها عاليًا جدًّا، أو درجةُ حرارتِها منخفضةً جدًّا. سترى في الأجزاءِ التالية، كيفَ تفسرُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ الخصائصَ الفيزيائيةَ للغازات.

التمدُّد

لا تمتلكُ الغازاتُ شكلاً أو حجمًا محدَّدين. لذا هي تملأُ تمامًا الوعاء الذي توضعُ فيه، وتأخذُ شكلَه. وعند نقلِ غازٍ من وعاءٍ بحجمِ لترٍ واحدٍ إلى وعاءٍ بحجمِ لترين، يتمدّدُ الغازُ تلقائيًّا لملءِ الحجمِ الجديدِ للوعاء. تعللُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ هذه الحقيقةَ من خلالِ الفرضيتين 3 و 4 اللتينِ تشيرانِ إلى الحركةِ السريعةِ لجسيماتِ الغازِ في الاتجاهاتِ كافّة، دونَ أن يحصلَ بينها تجاذُبٌ أو تنافرٌ يُذكر.

الميوعة (الانسياب)

بما أن قوى التجاذُبِ بينَ جسيماتِ الغازِ مهملةٌ (الفرضية 4)، فإن جسيماتِ الغازِ تنسابُ مارّةً ببعضِها بسهولة، الأمرُ الذي يجعلُ الغازَ يسلكُ سلوكًا كأنَّهُ سائل. ***ولأن كلاً من الغازِ والسائلِ يمتلكُ صفةَ الانسيابِ، يُطلقُ عليهما اسمُ الموائع fluids.***

انخفاضُ الكثافة

تبلغُ كثافةُ المادةِ في حالتِها الغازيةِ حوالي 1/1000 من كثافتِها في حالتِها السائلة، أو الصلبة. والسببُ هو أن الجسيماتِ في الحالةِ الغازيةِ تكونُ متباعدةً كثيرًا (الفرضية 1).

قابليةُ الانضغاط

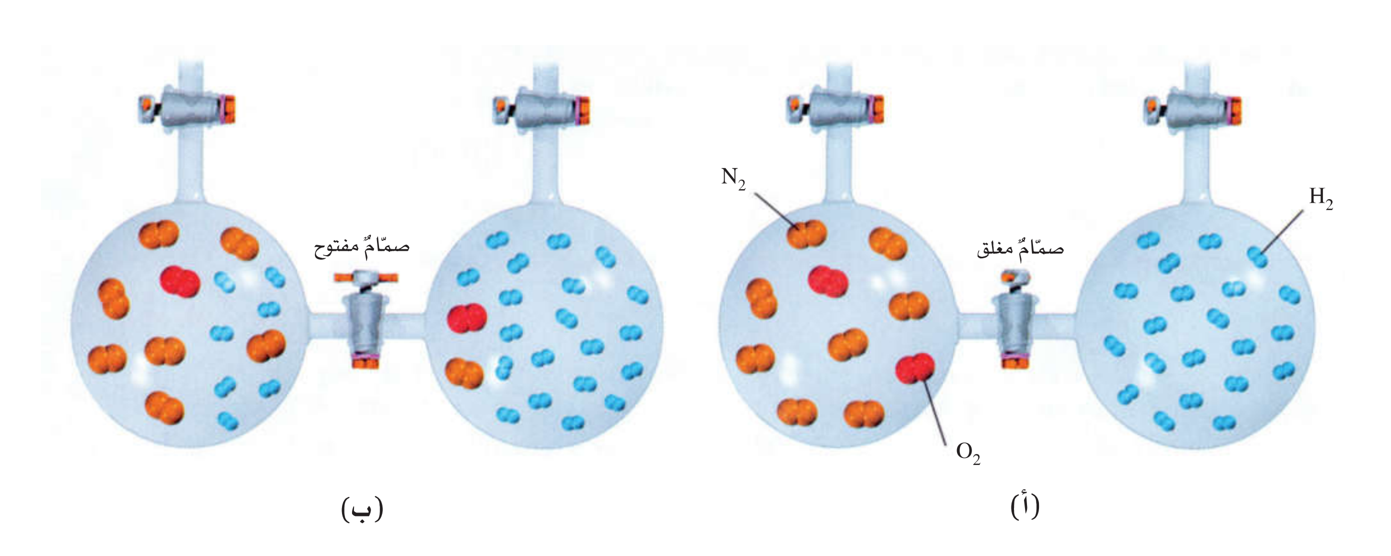
تتجمَّعُ جسيماتُ الغازِ المتباعدةُ في أثناء عمليةِ الانضغاطِ (الفرضية 1). وبذلكَ، يقلُّ حجمُ عيّنةٍ من الغازِ إلى درجةٍ كبيرة. ولهذا السببِ تُستخدمُ أسطواناتٌ فولاذيةٌ تحتوي على غازٍ مضغوطٍ في الصناعةِ، بشكلٍ واسع.

الانتشارُ والتدفُّق

تنتشرُ الغازاتُ ويمتزجُ بعضُها في بعض، دونَ الحاجةِ إلى الرجِّ والتحريك. فعندَ إزالةِ غطاءِ وعاءِ الأمونيا في غرفة، يمتزجُ غازُ الأمونيا بالهواءِ بانتظام، وينتشرُ في جوِّ الغرفة. إن الحركةَ العشوائيةَ المستمرةَ لجزيئاتِ الأمونيا (الفرضية 3) تجعلُها تنتشرُ في فضاءِ الغرفةِ المتاح. ***ظاهرةُ الامتزاجِ التلقائيِّ بين جسيماتِ الموادِّ بفعل حركتِها العشوائية تُسمّى الانتشار*** **diffusion**.

يعتمدُ معدلُ انتشارِ غازٍ معيّنٍ بين غازاتٍ أخرى، على ثلاثِ خصائصَ لجسيماتِ الغاز، هي: سرعتُها وأقطارُها وقوى التجاذُبِ بينها. في الشكل 4-2 ينتشرُ غازُ الهيدروجين بسرعةٍ بينَ بقيةِ الغازاتِ الواقعةِ تحتَ تأثيرِ درجةِ الحرارةِ نفسِها، لأن جزيئاتِه أخفُّ وأسرعُ من جزيئاتِ بقيةِ الغازات.

الانتشارُ عمليةٌ يتمُّ بموجبِها تفشّي الغازِ تلقائيًّا بين الغازاتِ الأخرى وامتزاجُهُ بها. **والتدفُّقُ effusion**، ***بالمقابل، عمليةٌ يتمُّ بمُقتضاها مرورُ جسيماتِ غازٍ من خلالِ فتحةٍ صغيرةٍ جدًّا.*** وتتناسبُ معدلاتُ تدفُّقِ غازاتٍ مختلفةٍ طرديًّا مع سرعاتِ جسيماتِها. وبسببِ هذا التناسب، يكونُ تدفُّقُ الجزيئاتِ الصغيرةِ الكتلةِ أسرعَ من تدفُّقِ الجزيئاتِ الكبيرةِ الكتلة.

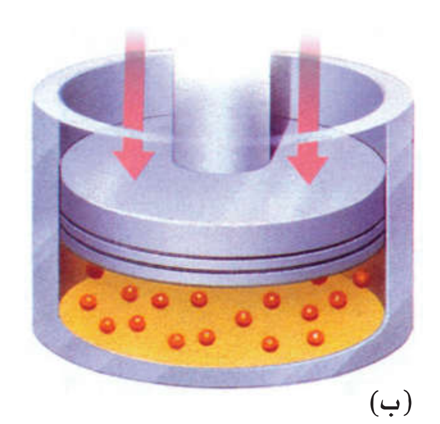


الشكل 4-2 عندَما يُسمَحُ لغازِ الهيدروجين، في دورق، بأن يمتزجَ بهواءِ دورقٍ آخرَ يقعُ تحتَ الضغطِ نفسِه، تنتشرُ جزيئاتُ الهيدروجين ذاتُ الكتلةِ الصغيرة بسرعةٍ في دورقِ الهواء، بينما تنتشرُ جزيئاتُ النيتروجين والأكسجين الثقيلةُ ببطءٍ شديدٍ في دورقِ الهيدروجين.

انحرافُ الغازاتِ الحقيقيةِ عن السلوكِ المثاليّ

تسلكُ غالبيةُ الغازاتِ سلوكًا مثاليًّا عندَما تكونُ جسيماتُها متباعدةً، ويكونُ لديها ما يكفي من الطاقةِ الحركية. لكن الغازاتِ الحقيقيةَ جميعَها، تنحرفُ إلى حدٍّ ما عن سلوكِ الغازِ المثالي. **الغازُ الحقيقيُّ real gas** ***هو الغازُ الذي لا يتفقُ بشكل تامٍّ مع فرضياتِ نظريةِ الحركةِ الجزيئية.*** وقد علّلَ يوهان فاندر فالز، عام 1873 هذا الانحرافَ بأن جسيماتِ الغازِ الحقيقيِّ تشغلُ حيّزًا وتمارسُ قوى تجاذُبٍ بعضُها على بعض. يكونُ الانحرافُ ملموسًا عند توفّرِ الضغوطِ العاليةِ ودرجاتِ الحرارةِ المنخفضة. عند هذه الظروف، تكونُ الجسيماتُ متقاربةً، ولا تكفي طاقتُها الحركيةُ للتغلُّبِ تمامًا على قوى التجاذُب، كما في الشكل 4-3.

تُطبَّقُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ على الغازاتِ التي يوجدُ بينَ جسيماتِها قوى جذبٍ ضعيفة. وتُظهرُ الغازاتُ النبيلة، كالهيليوم He والنيون Ne، سلوكَ الغازِ المثالي ضمنَ مدًى واسعٍ من درجةِ الحرارةِ والضغط. وجسيماتُ هذه الغازاتِ أحاديةُ الذرّة، لذلك لا تكونُ قطبية. من ناحيةٍ أخرى، فإن جسيماتِ الغازاتِ العادية، كالنيتروجين N_2 والهيدروجين H_2، هي جزيئاتٌ غيرُ قطبيةٍ وثنائيةُ الذرّات. لذا يكونُ سلوكُ الغازاتِ هذه مُشابهًا تقريبًا لسلوكِ الغازِ المثالي تحت ظروفٍ معيّنة. وكلّما ازدادتْ قطبيةُ جزيئاتِ الغازِ تزيدُ قوى التجاذُبِ بينها ويزيدُ انحرافُ الغازِ عن السلوكِ المثاليّ. فالغازاتُ الشديدةُ القطبية، كالأمونيا NH_3 وبخارِ الماء، مثلاً، تنحرفُ عن السلوكِ المثاليِّ بدرجةٍ كبيرةٍ، مقارنةً بالغازاتِ غيرِ القطبية.



الشكل 4-3 (أ) جزيئاتُ غازٍ داخلَ أسطوانةِ محرِّكِ سيارةٍ تتمددُ لتملأَ الأسطوانة. (ب) التأثيرُ بضغطٍ على الجزيئاتِ يقرِّبُ بعضَها من بعض ويقللُ من حجمِها.

مراجعةُ القسم 4-1

1. اشرحِ الخصائصَ التاليةَ للغازات، مستخدمًا نظريةَ الحركةِ الجزيئية: التمدد، الميوعة، انخفاضَ الكثافة، قابليةَ الانضغاط، الانتشار.
2. صفِ الظروفَ التي يسلكُ فيها الغازُ الحقيقيُّ سلوكَ الغازِ المثالي.
3. اذكرِ العاملينِ اللذينِ افترضَهُما فاندر فالز لتفسيرِ انحرافِ الغازِ الحقيقيِّ عن السلوكِ المثاليّ.
4. أيٌّ من الغازاتِ التاليةِ يبدي انحرافًا ملموسًا عن السلوكِ المثاليّ: He، O_2، H_2، H_2O، N_2، HCl، NH_3؟



قراءةٌ علمية

حفّازُ أوّلِ أكسيدِ الكربون- مانعُ القاتلِ الخفيّ

أوّلُ أكسيدِ الكربون، ذلك «القاتلُ الخفيُّ» العديمُ اللونِ والرائحة، يسببُ كلَّ سنةٍ موتَ المئات. وعندما لا يحترقُ الوقودُ تمامًا خلالَ عمليةِ الاحتراقِ ينتجُ أولُ أكسيدِ الكربون. ويحصلُ ذلك أيضًا في السخاناتِ والأفرانِ ومواقدِ التدفئةِ المنزلية، إذا لم يتمَّ احتراقُ الوقودِ فيها بشكلٍ كامل. وأولُ أكسيدِ الكربون يتحدُ لدى استنشاقِه بهيموجلوبين الدم، فيحرمُ الجسمَ مما يحتاجُ إليه من الأكسجين. فقبلَ أن يدركَ الناسُ أن هناك خللاً ما في وسائلِ الاحتراقِ هذه، يمكنُ أن يكونَ الأوانُ قد فات.

$$O_2Hb + CO \rightarrow COHb + O_2$$

لأولِ أكسيدِ الكربون ميلٌ كيميائيٌّ للاتحادِ بهيموجلوبين الدم (Hb) يعادلُ 200 مرةٍ ميلَ الأكسجين للاتحادِ بالهيموجلوبين. وهذا يعني أن الجسمَ، لو توفّرَ له الخيارُ، لمالَ إلى الاتحادِ بأولِ أكسيدِ الكربون لا بالأكسجين. وأولُ أكسيدِ الكربون، إذا ازدادت نسبتُه في الدمِ، يصبحُ قاتلاً.

لكن يمكنُ منعُ التسممِ بأولِ أكسيدِ الكربون بوضعِ مصافٍ خاصةٍ تمتصُّ هذا الغاز. لكن بعدَ فترةٍ تتشبّعُ هذه المصافي، فيتسرّبُ أولُ أكسيدِ الكربون بحريّةٍ إلى الهواء. والطريقةُ المثلى لمنعِ التسممِ بأولِ أكسيدِ الكربون لا تنحصرُ في فصلِ الغازِ بالترشيح، بل تكونُ بتخليصِ الهواءِ منه بشكلٍ تامّ.

ولمعالجةِ هذه المشكلة، طوّرَ علماءُ NASA حفّازًا يُصنعُ من أكسيدِ القصديرِ والبلاتين، يعملُ على أكسدةِ أولِ أكسيدِ الكربون الناتجِ وتحويلِه إلى ثاني أكسيد الكربون. وسرعانَ ما أدركَ هؤلاءِ العلماءُ أن لحفّازِهم إمكاناتٍ كثيرةً للتطبيقِ على سطحِ الأرضِ كذلك. ومن هذه التطبيقات إزالةُ أولِ أكسيدِ الكربون من المنازلِ والبنايات.

ومن المعروفِ أن السخاناتِ غيرَ الصالحة تقومُ بتحريرِ أولِ أكسيدِ الكربون الذي تنتجُه خلالَ نظامِ التهوية، وتنفثُه في الهواءِ المحيط. وعندَ تركيبِ الحفّازِ في مدخلِ نظامِ التهوية، يتمُّ التخلّصُ من أولِ أكسيدِ الكربون، بأكسدتِه وتحويلِه إلى ثاني أكسيدِ الكربونِ غيرِ السام، قبلَ أن يدخلَ الغرفةَ أو البناية.

«يكونُ الحفّازُ على شكلِ طبقةٍ سطحيةٍ رقيقةٍ، تغطّي نوعًا من دعامةٍ أو مادةٍ سفليةٍ كما يسمّونَها». يقولُ الكيميائي دافيد شراير العاملُ في NASA: «إن هذه المادةَ الدعامةَ أو المادةَ السفليةَ، يمكنُ أن تكونَ واحدةً من عددٍ كبيرٍ من الموادّ، وأهمُّ ما فيها سطحُها الخارجي. لذلك قد يكونُ الحفّازُ في غايةِ الرقة، ومع ذلك يكونُ فعالاً جدًّا».

إن فكرةَ استخدامِ الحفّازِ في أكسدةِ الغازاتِ ليسَت جديدة، فالمحوّلُ المزوَّدُ بحفّازٍ catalytic converter في عادمِ السيارةِ يؤكسِدُ أولَ أكسيد الكربون، وكذلك الهيدروكربوناتِ غيرَ المحترقةِ، فيقلُّ التلوث. وهناك موادُّ عديدةٌ تتمُّ أكسدتُها فتتحوَّلُ إلى موادَّ جديدةٍ صالحةٍ لأغراضٍ صناعية. لكنَّ هذينِ النوعينِ من التفاعلاتِ المحفّزة، يحدُثانِ عندَ درجاتِ حرارةٍ عالية. من ناحيةٍ أخرى، فإن حفّازَ NASA أكثرُ خصوصيةً، لقدرتِه على إزالةِ أولِ أكسيدِ الكربون، عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة. وعندَه كذلك قابليةٌ لأكسدةِ الفورمالديهيد، المادةِ الكيميائيةِ الضارةِ التي توجدُ غالبًا في موادِّ البناءِ والسجادِ والستائر.

وطِبقًا لدافيد شراير، تشكِّلُ حفّازاتُ الحرارةِ المنخفضةِ صنفًا جديدًا من الحفّازاتِ الصالحةِ لتطبيقاتٍ متعدِّدةٍ في المستقبل.

القسم 2-4

الضغط

مؤشرات الأداء

- يُعرِّفُ الضغطَ وعلاقتَه بالقوة.
- يصفُ كيف يقاسُ الضغط.
- يحوِّلُ وحداتِ الضغط.
- يذكرُ الشروطَ القياسيةَ للحرارةِ والضغط.

افترضْ أن لديك قنينةً مليئةً بالهواءِ وحجمُها لترٌ واحد. كم يكونُ لديكَ من الهواءِ فعلاً؟ المصطلحُ «لترٌ من الهواءِ» لا يعني الكثير، ما لم تُعرَّفِ الظروفُ التي تمَّ فيها القياس. فَلِترٌ واحدٌ من الهواءِ يمكنُ ضغطُهُ حتى عدّةِ مليلترات، كما يمكنُ أن يتمدَّدَ ليملأَ قاعةً كبيرة.

لوصفِ غازٍ معيّنٍ بشكل كامل، يجبُ تحديدُ أربعِ كميّاتٍ قابلةٍ للقياس، هي: الحجم، درجةُ الحرارة، عددُ الجزيئات، الضغط، وقد سبق أن درستها كلَّها عدا الضغط. في هذا القسم، ستتعلمُ الكثيرَ عن الضغطِ وطرقِ قياسِه. وفي القسم 4-3 ستدرسُ العلاقاتِ الرياضيةَ بين الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ وعددِ جزيئاتِ الغازِ والضغط.

الضغطُ والقوة

إذا نفختَ بالونًا مطاطيًّا بالهواءِ يزدادُ حجمُ البالون. سببُ الزيادةِ في الحجمِ هو اصطدامُ جزيئاتِ الهواءِ بالجدرانِ الداخليةِ للبالون، فهذه الاصطداماتُ تسبّبُ دفعًا لجدرانِ البالونِ الداخليةِ إلى الخارجِ أو قوةً ضد هذه الجدرانِ الداخلية. ***يُعرَّفُ الضغطُ*** **pressure** (P) ***بأنَّهُ القوةُ المؤثرةُ على وحدةِ مساحةِ السطح.*** والمعادلةُ التي تُعرِّفُ الضغطَ هي:

الشكل 4-4 يعتمدُ الضغطُ الذي يمارسُه هذا الشابُّ على الأرض، على مساحةِ التماسِّ بينَ الشابِّ والأرض. كلما قلَّتْ مساحةُ التماسِّ زادَ الضغط.



(أ) مساحة التماسّ = $450\ cm^2$

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{مساحة السطح}}$$

$$= \frac{700\ N}{450\ cm^2} = 1.6\ N/cm^2$$



(ب) مساحة التماسّ = $20\ cm^2$

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{مساحة السطح}}$$

$$= \frac{700\ N}{20\ cm^2} = 35\ N/cm^2$$



(ج) مساحة التماسّ = $10\ cm^2$

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{مساحة السطح}}$$

$$= \frac{700\ N}{10\ cm^2} = 70\ N/cm^2$$

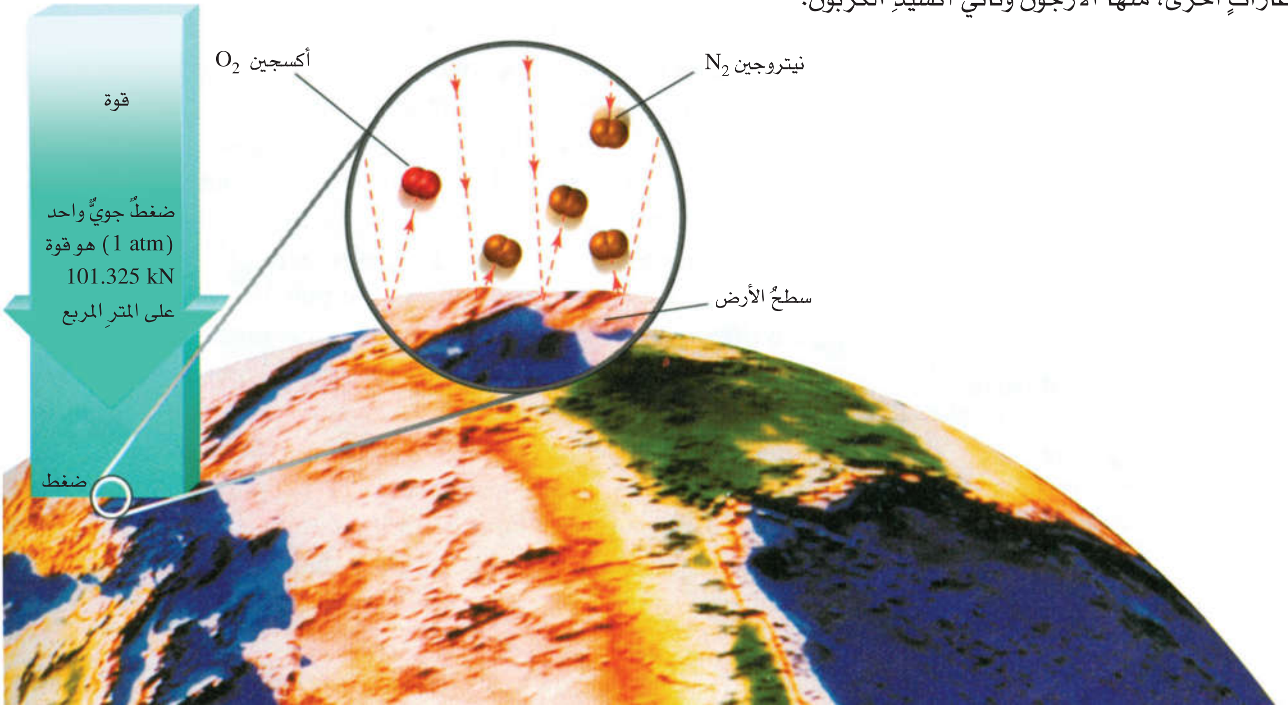
$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{مساحة السطح}}$$

إن الوحدةَ الدوليةَ SI للقوةِ هي **النيوتن newton**، وتُختصرُ بـ N، ***ومعناها القوةُ التي تزيدُ من سرعةِ جسمٍ كتلتهُ كيلوجرامٌ واحد بمقدارِ متر/ثانية***. وعلى سطحِ الأرضِ يُؤثر كلُّ كيلوجرام من الكتلةِ بقوةٍ مقدارُها 9.8 N، وذلك بسببِ جاذبيةِ الأرض. لنأخذْ حالةَ الشابِّ الذي تبلغُ كتلتُه 71 kg، وكما يظهرُ في الشكل 4-4، نجدْ أن كتلةَ 71 kg تُؤثِّرُ بقوةٍ مقدارُها (9.8 × 71) 700 N على سطحِ الأرض. ومهما تكنْ طريقةُ وقفةِ الشابّ، سيمارسُ هذا المقدارَ من القوةِ على السطح. من ناحيةٍ أخرى، يعتمدُ الضغطُ الذي يؤثِّرُ به الشابُّ على الأرض، على مساحةِ التماسِّ بين جسمِ الشابِّ والأرض. فعندَما يستقرُّ وزنُه على قدمَيه كلتيْهما، كما يظهرُ في الشكل 4-4 (أ)، تكونُ مساحةُ التماسِّ حوالي $450\ cm^2$. ويكونُ الضغطُ، أو القوةُ على وحدةِ المساحةِ في هذه الحالة $700\ N/450\ cm^2$، أي حوالي $1.6\ N/cm^2$. وعندَما يقفُ الشابُّ على أطرافِ أصابعِ قدمَيه، كما في الشكل 4-4 (ب)، تكونُ المساحةُ الكلّيةُ للتماسِّ $20\ cm^2$ فقط. ويكونُ الضغطُ المؤثّرُ في هذه الحالةِ $700\ N/20\ cm^2$، أي حوالي $35\ N/cm^2$. وعندَما يقفُ على أطرافِ أصابعِ إحدى قدمَيه، كما في الشكل 4-4 (ج)، يؤثّرُ بضغطٍ مضاعفٍ، أي حوالي $70\ N/cm^2$. لذلك، فإن القوةَ نفسَها المؤثّرةَ على مساحةٍ أصغرَ، تنتجُ ضغطًا أعلى.

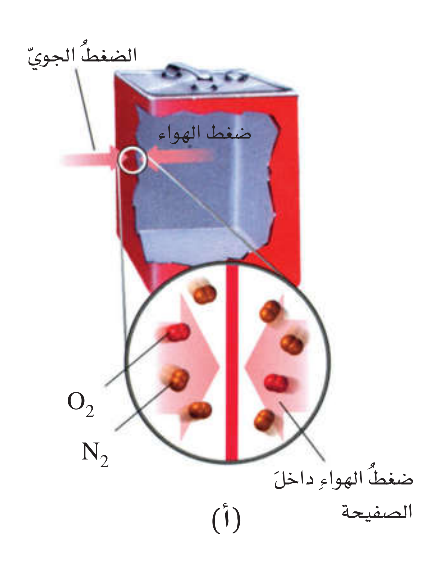
تؤثّرُ جزيئاتُ الغازِ بضغطٍ على أيِّ سطحٍ تصطدمُ به. والضغطُ الذي يؤثّرُ به الغازُ يعتمدُ على الحجمِ والحرارةِ وعددِ الجزيئاتِ الموجودة.

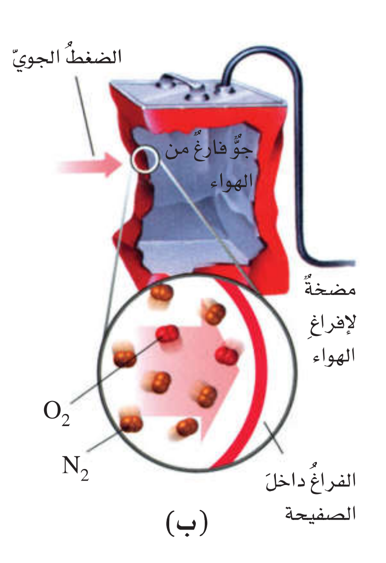
يمارسُ الغلافُ الجويُّ المحيطُ بالأرضِ ضغطًا. يُظهرُ الشكل 4-5 أن الضغطَ الجويَّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ يساوي كتلةَ 1.03 kg على السنتيمترِ المربّعِ من السطح، أو $10.1\ N/cm^2$. ويرجعُ هذا الضغطُ الجويُّ إلى وزنِ الغازاتِ التي يتألفُ منها الغلافُ الجوي. علمًا بأنَّ الغلافَ الجويَّ يتكوَّنُ من 78% نيتروجين، و 21% أكسجين، و 1% غازاتٍ أخرى، منها الأرجون وثاني أكسيدِ الكربون.

الشكل 4-5 الغازاتُ التي يتألّفُ منها الغلافُ الجويُّ هي النيتروجين والأكسجين في الأغلب. تصطدمُ جزيئاتُ هذه الغازاتِ بسطحِ الأرض، وتمارسُ ضغطًا مقدارُه $10.1\ N/cm^2$.



الشكل 6-4 (أ) يتزنُ الهواءُ الموجودُ داخلَ الصفيحةِ مع الضغطِ الجوي.
(ب) تنسحقُ الصفيحةُ بعدَ إفراغِ الهواءِ منها.



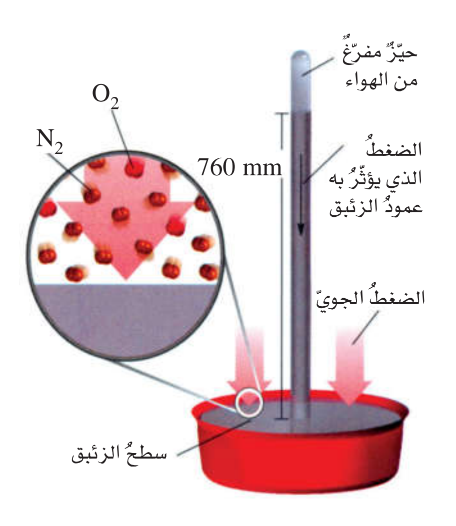


لكي نستوعبَ مفهومَ ضغطِ الغازِ وكميتِه، نأخذُ نموذجَ الصفيحةِ الفارغة، الظاهرةِ في الشكل 6-4 (أ) و (ب). تحتوي الصفيحةُ «الفارغةُ» على مزيجٍ من غازاتِ الهواءِ، وهذه تدفعُ في اتجاهِ الخارج، وتوازنُ الضغطَ الجويَّ الذي يدفعُ في اتجاهِ الداخل (أ). عندَما تُفرَّغُ الصفيحةُ من الهواء، بواسطةِ المضخة، لا يبقى من الهواءِ ما يكفي لمعادلةِ الضغطِ الجويِّ الخارجيّ، فتنسحقُ الصفيحةُ كما في (ب).

قياسُ الضغط

البارومتر barometer ***جهازٌ يُستخدَمُ لقياسِ الضغطِ الجويّ.*** أولُ نوعٍ من أجهزةِ قياسِ الضغطِ (الشكل 7-4) قدَّمهُ إيفانجيليستا تورشيللي، في أوائلِ القرنِ السادسَ عشر. فقد عمدَ إلى غلقِ طرفِ أنبوبٍ طويلٍ من الزجاجِ وملأهُ بالزئبق، ثمَّ قلبَ الأنبوبَ داخلَ إناءٍ مليءٍ بالزئبقِ بحيثُ يكونُ طرفُه المفتوحُ تحت سطحِ الزئبق، ولا يسمحُ بدخولِ أيِّ كميةٍ من الهواءِ إلى داخلِه. وعندَما رفعَ إبهامَهُ انخفضَ الزئبقُ في الأنبوبِ إلى ارتفاعٍ يساوي 760 mm فوقَ سطحِ زئبقِ الإناء. كرّرَ تورشيللي التجربةَ مرارًا مُستخدمًا أنابيبَ بأقطارٍ وأطوالٍ مختلفة. وفي كلِّ مرةٍ كان الزئبقُ ينخفضُ إلى ارتفاعِ 760 mm تقريبًا.

إنَّ الفراغَ، الواقعَ فوقَ الزئبقِ في الأنبوبِ خالٍ من الهواءِ تمامًا. وإنَّ الزئبقَ في الأنبوبِ يندفعُ إلى أسفلَ بفعلِ قوةِ الجاذبية. يتوقفُ عمودُ الزئبقِ في الأنبوبِ عن الهبوطِ (الاندفاعِ إلى الأسفل) عند نقطةٍ معيّنة، لأن الضغطَ الجويَّ يؤثِّرُ بقوةٍ على سطحِ الزئبقِ خارجَ الأنبوب. تنتقلُ هذه القوةُ عبر الزئبق، فتؤثِّرُ في عمودِ الزئبقِ إلى أعلى. والزئبقُ يهبطُ في الأنبوبِ إلى مسافةٍ معيّنة، حتى يتساوى الضغطُ الذي يسبّبُهُ وزنُه مع الضغطِ الجويّ.



الشكل 7-4 توصَّلَ تورشيللي إلى أن الضغطَ الجويَّ يعادلُ ضغطَ عمودٍ من الزئبقِ ارتفاعُه 760 mm فوقَ مستوى الزئبقِ الموجودِ في الإناء.

يعتمدُ الارتفاعُ الصحيحُ للزئبقِ في الأنبوبِ على الضغطِ الجويّ، المتمثِّلِ بالقوةِ على وحدةِ المساحة. ويقاسُ الضغطُ الجويُّ بصورةٍ مباشرة، وفقًا لارتفاعِ عمودِ الزئبقِ داخلَ أنبوبِ البارومتر.

من تجاربِ تورشيللي ومثيلاتِها باتَ معلومًا أن معدلَ الضغطِ عندَ سطحِ البحرِ وعندَ درجةِ الحرارة 0°C يساوي ضغطَ عمودٍ من الزئبقِ ارتفاعُه 760 mm. وفي أيِّ نقطةٍ أخرى على سطحِ الأرض، تعتمدُ قيمةُ الضغطِ الجويِّ، عندَ قياسِه، على الارتفاعِ وعواملِ

الطقس. إذا ارتفعَ الضغطُ الجويُّ عن متوسطِهِ على سطحِ البحر، يصبحُ ارتفاعُ عمودِ الزئبقِ في البارومتر أكثرَ من 760 mm. وإذا انخفضَ الضغطُ الجويّ، يقلُّ ارتفاعُ عمودِ الزئبقِ في البارومتر عن 760 mm.

الغازاتُ جميعُها، وليسَ فقط غازاتُ الغلافِ الجويّ، تمارسُ ضغطًا. ويوجدُ جهازٌ يسمى المانومتر manometer، يُستخدمُ لقياسِ الضغطِ في عيّناتِ الغازِ المحصور، كما يظهرُ في الشكل 4-8. إن الاختلافَ في ارتفاعِ الزئبقِ في طرفيِ الأنبوب (الشبيهِ بحرف U) هو مقياسٌ لضغطِ غازِ الأكسجين في الدورق.

وحداتُ الضغط

يُستخدمُ عددٌ من الوحداتِ لقياسِ الضغط. وبما أن الضغطَ الجويَّ يقاسُ غالبًا بالبارومترِ الزئبقيّ، فإن الضغطَ يعبَّرُ عنه بدلالةِ ارتفاعِ عمودِ الزئبق. ***لذلك، فالوحدةُ الشائعةُ في قياسِ الضغطِ هي مليمتر زئبق* millimeter of mercury *وتُختصرُ بـ mm Hg. يطلقُ على ضغطِ 1 mm Hg الاسم «تور»،*** **1 torr**، تخليدًا لذكرى تورشيللي لاختراعِهِ البارومتر. إن معدلَ الضغطِ الجويّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ وعند درجةِ الحرارةِ المئويةِ صفر هو 760 mm Hg.

يقاسُ الضغطُ غالبًا بوحداتِ الضغطِ الجويّ. ***إنَّ وحدةَ ضغطٍ جويٍّ*** **atmosphere of pressure**، ***واحد (atm)، تساوي 760 mm Hg.***

في الوحداتِ الدولية SI يُعبَّرُ عن الضغطِ بوحدةٍ مشتقةٍ تُسمّى الباسكال، نسبةً إلى بلاز باسكال، الرياضيِّ والفيلسوفِ الفرنسيّ الذي درسَ الضغطَ خلال القرنِ السابعَ عشر. ***ويُعرّفُ الباسكال*** **pascal** ***الواحد (Pa) بأنَّهُ الضغطُ الذي تؤثّرُ به قوةٌ مقدارُها نيوتن واحد (1 N) على مساحةٍ مقدارُها مترٌ مربعٌ واحد.***

ويلخّصُ الجدولُ 4-1 وحداتِ الضغطِ المستخدمةَ في هذا الكتاب.

الشكل 4-8 في المانومترِ أعلاه، يدفعُ ضغطُ غازِ الأكسجين الذي في الدورقِ عمودَ الزئبق. يدلُّ فرْقُ ارتفاعِ الزئبقِ في طرفي أنبوبِ المانومتر (الشبيهِ بحرف U) على أن لغازِ الأكسجين ضغطًا.

الجدول 4-1 وحداتُ الضغط

الوحدة	الرمز	التعريف/العلاقة
باسكال	Pa	وحداتُ SI الدولية $1\ Pa = \frac{1\ N}{m^2}$
مليمتر زئبق	mm Hg	الضغطُ الذي يعادلُ ضغطَ عمودٍ من الزئبقِ ارتفاعُهُ 1 mm في البارومتر.
تور	torr	1 torr = 1 mm Hg
ضغطٌ جويّ	atm	معدّلُ الضغطِ الجويّ عندَ مستوى سطحِ البحر، وعند الصفر المئوي. 1 atm = 760 mm Hg = 760 torr $= 1.01325 \times 10^5$ Pa = 101.325 kPa

درجةُ الحرارةِ والضغطُ القياسيان

لمقارنةِ حجومِ غازاتٍ مختلفة، يجبُ معرفةُ درجةِ الحرارةِ والضغطِ عندَ قياس الحجوم. *وبهدفِ المقارنة، اتّفقَ العلماءُ على شرطَينِ قياسيين، هما ضغطُ 1 atm، ودرجةُ حرارة 0ºC. يُسمّى هذانِ الشرطانِ درجةَ الحرارةِ والضغطَ القياسيين* **standard temperature and pressure** *ويُختصرانِ عادةً بـ STP.*

مسألةٌ نموذجية 1-4

يبلغُ متوسطُ الضغطِ الجويِّ في مدينة أبو ظبي **0.830 atm**. عبِّر عن هذا الضغطِ بالـ: (أ) **mm Hg**، (ب) **kPa**.

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: الضغطُ الجويّ = 0.830 atm

1 atm = 760 mm Hg

1 atm = 101.325 kPa

المجهول: أ. الضغطُ الجويّ بالـ mm Hg

ب. الضغطُ الجويّ بالـ kPa

2 خطِّط

أ. $atm \rightarrow mm\ Hg;\quad atm \times \frac{mm\ Hg}{atm} = mm\ Hg$

ب. $atm \rightarrow kPa;\quad atm \times \frac{kPa}{atm} = kPa$

3 احسب

أ. $0.830\ \cancel{atm} \times \frac{760\ mm\ Hg}{\cancel{atm}} = 631\ mm\ Hg$

ب. $0.830\ \cancel{atm} \times \frac{101.325\ kPa}{\cancel{atm}} = 84.1\ kPa$

4 قيِّم

اختصرتِ الوحداتُ المتشابهةُ في أطرافِ المعادلةِ لتبقى الوحداتُ المطلوبة، وعُدّلتِ الأجوبةُ إلى العددِ الصحيحِ من الأرقامِ المعنوية. الضغطُ المعطى هو 80% من الضغطِ الجويّ.

تمارينُ تطبيقية

1. حوِّل 1.75 atm إلى kPa و mm Hg.

2. حوِّل 570. torr إلى atm و kPa.

الجواب

1. 177 kPa، 1330 mm Hg

2. 0.750 atm، 76.0 kPa

مراجعةُ القسم 2-4

1. عرِّفِ الضغط.

2. ما الوحداتُ المستخدمةُ في قياسِ الضغط؟

3. ما الشرطانِ القياسيانِ للقياساتِ المتعلِّقةِ بالغازات؟

4. حوِّلِ الضغوطَ التاليةَ إلى وحدة atm:

أ. 151.98 kPa

ب. 456 torr

ج. 912 mm Hg

قوانينُ الغاز

القسم 3-4

مؤشراتُ الأداء

- يستخدمُ نظريةَ الحركةِ الجزيئيةِ، لتفسيرِ العلاقةِ بينَ حجمِ الغازِ ودرجةِ الحرارةِ والضغط.
- يستخدمُ قانونَ بويْل لحسابِ التغيُّراتِ في الحجمِ والضغط، عند ثباتِ درجةِ الحرارة.
- يستخدمُ قانونَ شارل لحسابِ التغيُّراتِ في الحجمِ ودرجةِ الحرارة، عند ثباتِ الضغط.
- يستخدمُ قانونَ جايلوساك لحسابِ التغيراتِ في الضغطِ ودرجةِ الحرارة، عند ثباتِ الحجم.
- يستخدمُ القانونَ العامَّ للغازات لحسابِ التغيُّراتِ في الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ والضغط.
- يستخدمُ قانونَ الضغوطِ الجزيئيةِ لدالتون لحسابِ الضغطِ الجزئيِّ والضغطِ الكلّي.

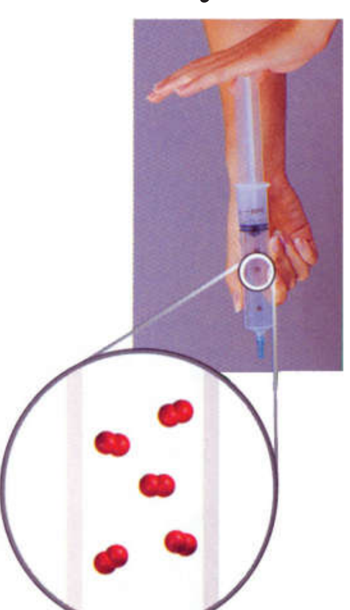
درسَ العلماءُ الخصائصَ الفيزيائيةَ للغازاتِ لمئاتِ السنين. في عام 1662، اكتشفَ روبرت بويْل وجودَ علاقةٍ رياضيةٍ بين ضغطِ الغازِ وحجمِه. قادتْ ملاحظةُ بويْل وآخرون إلى تطويرِ قوانينِ الغاز. **قوانينُ الغاز gas laws** ***هي علاقاتٌ رياضيةٌ بسيطةٌ بين حجمِ الغازِ ودرجةِ حرارتِه وضغطِه وكميتِه.***

قانونُ بويْل: العلاقةُ بين الحجمِ والضغط

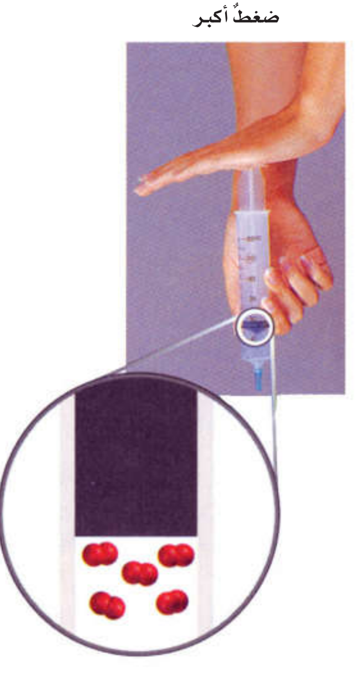
اكتشفَ روبرت بويْل أن مضاعفةَ الضغطِ لغازٍ موجودٍ عند درجةِ حرارةٍ ثابتة، يقلِّلُ من حجمِه إلى النصف. وبزيادةِ الضغطِ إلى ثلاثةِ أضعاف يقلُّ حجمُه إلى الثلث. وبالعكس، يسبِّبُ تقليلُ ضغطِ غازٍ إلى النصفِ مضاعفةَ حجمِه إلى ضعفَين. وكلما زادَ أحدُ هذين العاملين قلَّ العاملُ الآخر. يُظهرُ الشكل 4-9 أنه كلما قلَّ حجمُ الغازِ في المحقَنة، يزدادُ ضغطُه.

ويمكنُ استخدامُ نظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ لفهمِ سببِ هذه العلاقةِ بين حجمِ الغازِ وضغطِه. ينتجُ ضغطُ الغازِ عن اصطدامِ الجزيئاتِ المتحركةِ بجدرانِ الوعاء. افترضْ أن حجمَ الوعاءِ جرى تقليصُه، مع بقاءِ عددِ جزيئاتِ الغازِ ودرجةِ حرارتِها ثابتين. سيكونُ هنالك عددٌ أكبرُ من الجزيئاتِ في وحدةِ الحجم، وسيزدادُ في النتيجةِ عددُ الاصطداماتِ على وحدةِ مساحةِ الجدار. وهذا ما سيؤدي إلى ارتفاعِ ضغطِ الغاز.





ضغطٌ أكبر



الشكل 4-9 ينخفضُ حجمُ الغازِ في المحقنةِ الظاهرةِ في الصورة، عندَما يُدفعُ ذراعُ المكبسِ إلى أسفل. يزدادُ ضغطُ الغازِ عندَما يقلُّ الحجم، لأنَّ الجزيئاتِ يزدادُ اصطدامُها بجدرانِ الوعاء، في الحجمِ الأقلّ.

الجدول 4-2 بياناتُ الحجمِ والضغطِ لعيِّنةِ غاز (الكتلةُ ودرجةُ الحرارةِ ثابتَتان)

الحجم (mL)	الضغط (atm)	الحجم × الضغط (atm × mL)
1200	0.5	600
600	1.0	600
300	2.0	600
200	3.0	600
150	4.0	600
120	5.0	600
100	6.0	600

يُظهرُ الجدولُ 4-2 بياناتِ الضغطِ والحجمِ لكتلةٍ ثابتةٍ من الغازِ عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة. إنَّ رسمَ قِيَمِ الحجمِ مقابلَ الضغطِ يعطي خطًّا بيانيًّا، كما في الشكل 4-10. وهذه العلاقةُ العامةُ بين الحجمِ والضغطِ تسمّى قانونَ بويْل. ينصُّ **قانونُ بويْل Boyle's law** على التالي: ***يتناسبُ حجمُ كتلةٍ من الغازِ عكسيًّا مع الضغط، وذلك عند ثباتِ درجةِ الحرارة.***

يُعبَّرُ عن قانونِ بويْل رياضيًّا كالتالي:

$$PV = k \quad \text{أو} \quad V = k\,\frac{1}{P}$$

وقيمةُ k ثابتةٌ لعيِّنةٍ محدّدةٍ من الغاز، وهي تعتمدُ فقط على كميةِ الغازِ ودرجةِ الحرارة. (لاحظْ أن قيمةَ k في بياناتِ الجدول 4-2 هي: $k = 600$ atm × mL). إذا تغيَّرَ ضغطُ عيِّنةٍ من غازٍ عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة، سيتغيَّرُ الحجمُ أيضًا. لكن كميةَ الضغطِ مضروبةً في الحجمِ تبقى مساويةً لقيمةِ k نفسِها.

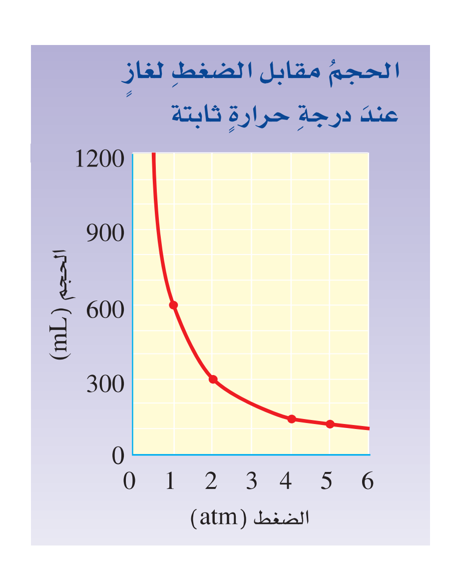
يمكنُ استخدامُ قانونِ بويْل لمقارنةِ الظروفِ المتغيِّرةِ للغاز، باستخدامِ P_1 و V_1 لتمثيلِ قيمتَي الضغطِ والحجمِ في البداية، و P_2 و V_2 لتمثيلِ الظروفِ الجديدة. وبموجبِ ذلك تنتجُ المعادلتان التاليتان:

$$P_1V_1 = k \qquad P_2V_2 = k$$

ولأن قيمةَ k ثابتةٌ تنتجُ المعادلةُ التالية:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

وبمعرفةِ قيَمِ ثلاثةِ متغيّراتٍ، من أربعةٍ هي P_1، V_1، P_2، V_2، يمكنُ حسابُ قيمةِ المتغيِّرِ الرابعِ للنظامِ الموجودِ عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة.



الشكل 4-10 يُظهرُ الشكلُ البيانيُّ وجودَ علاقةٍ عكسيةٍ بينَ الحجمِ والضغط. يزدادُ الحجمُ إلى ضعفيهِ عند انخفاضِ الضغطِ إلى النصف.

مسألةٌ نموذجية 2-4

يبلغُ حجمُ عيّنةٍ من غازِ الأكسجين 150 mL، عندما يكونُ ضغطُه 0.947 atm. ما حجمُ الغازِ عندما يصبحُ ضغطُه 0.987 atm ، عند ثباتِ درجةِ الحرارة؟

الحلّ

1 حلّلْ

المعطى: $V_1 = 150$ mL للأكسجين O_2

$P_1 = 0.947$ atm للأكسجين O_2

$P_2 = 0.987$ atm للأكسجين O_2

المجهول: V_2 للأكسجين O_2 مقيسًا بالـ mL

2 خطّطْ

$$P_1, V_1, P_2 \rightarrow V_2$$

أعدْ ترتيبَ معادلةِ قانون بويل $(P_1V_1 = P_2V_2)$ لكي تحصُلَ على V_2.

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

3 احسبْ

عوِّضْ قِيَمَ P_1 ، V_1 ، P_2 لتحصلَ على الحجمِ الجديد، V_2.

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{(0.947 \text{ atm})(150. \text{ mL } O_2)}{0.986 \text{ atm}} = 144 \text{ mL } O_2$$

4 قيِّمْ

عندَ زيادةِ الضغطِ قليلاً وثباتِ درجةِ الحرارة، يقلُّ الحجمُ قليلاً كما هو متوقَّع. تُختصرُ الوحداتُ للحصول على مليلتر mL، وهي وحدةُ الحجم.

تمارينُ تطبيقية

1. بالونٌ مليءٌ بغازِ الهيليوم حجمُه 500 mL، تحتَ ضغطِ 1 atm. أُطلقَ البالونُ ووصلَ إلى ارتفاعِ 6.5 km، حيث يصبحُ الضغطُ 0.5 atm. ما الحجمُ الذي يأخذُهُ الغازُ على هذا الارتفاع، مفترضًا ثباتَ درجةِ الحرارة؟

2. غازٌ ضغطُه 1.26 atm يشغلُ حجمًا يساوي 7.40 L. إذا أصبحَ حجمُ الغازِ 2.93 L، فما ضغطُهُ، مفترضًا ثباتَ درجةِ الحرارة؟

3. يَعلمُ الغوّاصون أنَّ ضغطَ الماءِ يزدادُ حوالي 100 kPa كلما ازدادَ العمقُ 10.2 m. هذا يعني أنّه، على عمقِ 10.2 m تحتَ سطحِ الماءِ، يصبحُ الضغطُ 201 kPa. وعلى عمقِ 20.4 m، يصبحُ الضغطُ 301 kPa، وهكذا. فإذا كانَ حجمُ بالونٍ 3.5 L تحتَ شروطِ STP، ودرجةُ حرارةِ الماءِ ثابتة، فما حجمُهُ على عمقِ 51 m تحت سطحِ الماء؟

الجواب

.1 1000 mL He

.2 3.18 atm

.3 0.59 L

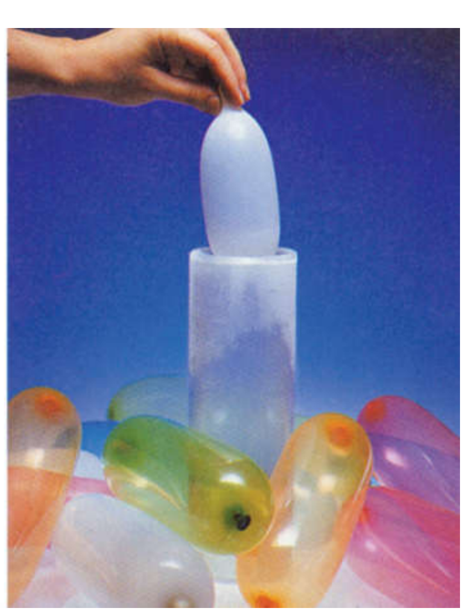
قانونُ شارل: العلاقةُ بينَ الحجمِ ودرجةِ الحرارة

يستفيدُ هواةُ التحليقِ بالمناطيد (الصورةُ في بدايةِ الفصل) من إحدى الخصائصِ الفيزيائيةِ للغازات، وهي: تمدّدُ الغازِ بالتسخين، مع ثباتِ الضغط. فعندَما تزدادُ درجةُ الحرارة يزدادُ الحجمُ الذي يشغلُهُ عددٌ محدّدٌ من جزيئاتِ الغاز، مع بقاءِ الضغطِ ثابتًا.

اكتُشفتِ العلاقةُ الكميةُ بين الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ عام 1787، اكتشفَها العالمُ الفرنسيُّ جاك شارل. أظهرَتْ تجربةُ شارل أنَّ الغازاتِ جميعًا تتمدّدُ بمقدارٍ واحد، عندَ تسخينِها على فتراتٍ زمنيةٍ متساوية. وجدَ شارل أيضًا أنَّ الحجمَ يتغيّرُ بنسبةِ 1/273 من الحجمِ الأصليِّ للغازِ لكلِّ درجةٍ مئويةٍ واحدة، عندما يتمُّ ذلك تحتَ ضغطٍ ثابتٍ وعندَ درجةِ حرارةٍ تساوي 0ºC لدى بدءِ التسخين. وعندَ رفعِ درجةِ الحرارةِ إلى 1ºC مثلاً، يزدادُ حجمُ الغازِ بمقدار 1/273 من حجمِه الأصلي عندَ درجةِ حرارةِ 0ºC. وعندَ درجةِ حرارةِ 10ºC، يزدادُ حجمُه بنسبةِ 10/273 من حجمِه الأصليِّ عندَ درجةِ حرارةِ 0ºC. وإذا ارتفعَتْ درجةُ الحرارةِ إلى 273ºC، يزدادُ حجمُ الغازِ بنسبةِ 273/273 من حجمِه الأصليّ، أي يتضاعفُ الحجم.

وبحسبِ الانتظامِ نفسِه، يتغيّرُ حجمُ الغازِ عندَ تبريدِه مع ثباتِ الضغط، كما تُظهِرُهُ البالوناتُ في الشكل 4-11. فبالانخفاضِ من 0ºC إلى 1ºC– ينقصُ الحجمُ بنسبةِ 1/273. وعلى هذا المنوالِ يسبِّبُ انخفاضُ درجةِ الحرارةِ من 0ºC إلى 273ºC– انخفاضَ الحجمِ بنسبةِ 273/273. بعبارةٍ أخرى يصبحُ الحجمُ صفرًا، وهو أمرٌ لا يمكنُ حدوثُه. وفي الواقع، لا يمكنُ تبريدُ الغازاتِ الحقيقيةِ إلى 273ºC–. وقبلَ بلوغِها درجةَ الحرارةِ هذه، تتغلَّبُ القوى الجزيئيةُ البينيةُ على الطاقةِ الحركيةِ للجزيئات، وتتكثّفُ الغازاتُ لتكوّنَ سوائلَ أو أجسامًا صلبة.

الشكل 4-11 عندَ وضعِ بالوناتٍ مليئةٍ بالهواءِ في نيتروجينٍ مُسال، تتقلّصُ حجومُها كثيرًا. وعندَ إخراجِها من النيتروجينِ المسالِ وتركِها ليستعيدَ الهواءُ داخلَها حرارةَ الغرفة، تتمدَّدُ البالوناتُ وتعودُ إلى حجومِها الأصلية.







الجدول 3-4 بياناتُ الحجم ودرجةِ الحرارةِ لعيِّنةِ غاز (الكتلةُ والضغطُ ثابتان)

درجةُ الحرارة (ºC)	الحجم (mL)
273	1092
100	746
10	566
1	548
0	546
-1	544
-73	400
-173	200
-223	100

تُوضحُ البياناتُ في الجدول 4-3 العلاقةَ بين الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ، عند ثباتِ الضغطِ لعيِّنةِ غازٍ حجمُها 546 mL عندَ درجةِ حرارة 0ºC.

من الملاحظِ في الجدول 4-3 أنَّ الحجمَ لا يزدادُ طرديًّا مع زيادةِ الدرجاتِ المئويةِ (السيليزية). فعندَ زيادةِ درجةِ الحرارةِ إلى عشرةِ أضعاف، من 10ºC إلى 100ºC، مثلاً، لا يزدادُ الحجمُ عشرَ مرات، بل يزدادُ من 566 mL إلى 746 mL.

إنَّ مقياسَ كلفن لدرجاتِ الحرارةِ هو مقياسٌ يبدأُ بدرجةٍ تُعادلُ 273.15ºC–. وهي أصغرُ درجةِ حرارةٍ يمكنُ الوصولُ إليها، ***ودرجةُ الحرارة 273.15ºC–*** تُسمّى **الصفرَ المطلَق absolute zero**، ***وهكذا تُعطى قيمةَ «صفر» في مقياسِ كلفن***. وتوضحُ العلاقةُ بينَ مقياسَي درجةِ الحرارةِ المئويةِ وكلفن بالمعادلةِ الآتية:

$$K = 273.15 + {}^{\circ}C$$

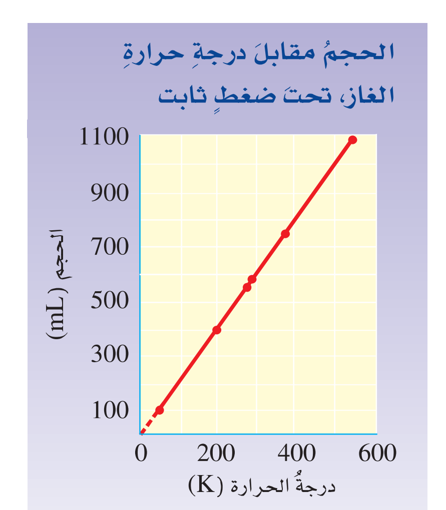
ولسهولةِ الحسابِ يُقرَّبُ الرقمُ 273.15 إلى 273.

يُعدُّ مقياسُ كلفن لدرجاتِ الحرارةِ أقربَ إلى التعبيرِ عن معدلِ الطاقةِ الحركيةِ لجزيئاتِ الغاز. فحجمُ الغازِ ودرجاتُ كلفن يتناسبانِ طرديًّا. فعندَ مضاعفةِ درجاتِ كلفن أربعَ مرّات، يتضاعفُ حجمُ الغازِ أربعَ مرّات. وعندَ خفضِ درجاتِ كلفن إلى النصفِ، يقلُّ الحجمُ أيضًا إلى النصف.

تُعرفُ العلاقةُ بين درجاتِ كلفن وحجمِ الغازِ بقانونِ شارل. **ينصُّ قانونُ شارل Charles's law** على التالي: ***يتناسبُ حجمُ كتلةٍ من الغازِ طرديًّا مع درجةِ الحرارةِ بالكلفن، وذلك عند ثباتِ الضغط.***

الجدول 4-4 بياناتُ الحجم ودرجةِ الحرارةِ لعيِّنةِ غاز (الكتلةُ والضغطُ ثابتان)

الحجم (mL)	درجةُ الحرارةِ كلفن (K)	V/T أو k (mL/K)
1092	546	2
746	373	2
566	283	2
548	274	2
546	273	2
544	272	2
400	200	2
100	50	2



الشكل 12-4 يُظهرُ الرسمُ البيانيُّ العلاقةَ بينَ الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ بالكلفن، من البياناتِ المأخوذةِ من الجدول 4-4. تظهرُ العلاقةُ خطّيةً. ويمرّ امتدادُ هذا الخط بنقطةِ الصفر، مؤشِّرًا إلى أنّ الحجمَ يصبحُ صفرًا بدرجةِ حرارة -273^oC. إنّ العلاقةَ الخطّيةَ تؤكّدُ وجودَ التناسبِ الطرديّ بين متغيِّرين.

يوضحُ الشكلُ 12-4 العلاقةَ بين حجمِ الغازِ ودرجةِ الحرارةِ بالكلفن، وذلك من خلالِ رسمِ البياناتِ الواردةِ في الجدول 4-4. يمكنُ التعبيرُ عن قانونِ شارل بالشكلِ التالي:

$$V = kT \quad \text{أو} \quad \frac{V}{T} = k$$

قيمةُ T هي درجةُ الحرارةِ بالكلفن، و k مقدارٌ ثابتٌ تعتمدُ قيمتُه على كميةِ الغازِ وضغطِه فقط. وتساوي النسبةُ V/T، لأيِّ مجموعةٍ من قيَمِ الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ، قيمةَ k نفسَها دائمًا. إنَّ صيغةَ قانونِ شارل التي يمكنُ استخدامُها مباشرةً في معظمِ مسائلِ الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ في الغازاتِ، هي كالتالي:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

تمثِّلُ V_1 و T_1 شرطَي الغازِ في البداية، و V_2 و T_2 شرطَيْهِ الجديدَين. وعندما تُعرفُ ثلاثُ قيَمٍ من أربع (V_1 و T_1 و V_2 و T_2)، تُستخدمُ المعادلةُ أعلاهُ لإيجادِ القيمةِ الرابعة.

مسألةٌ نموذجية 3-4

تشغلُ عيِّنةٌ من غازِ النيون حجمًا مقدارُه 752 mL عند درجةِ حرارةِ 25^oC. ما الحجمُ الذي يشغلُه الغازُ عندَ درجةِ حرارةِ 50^oC، وعند ثباتِ الضغط؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: حجمُ النيون V_1 = 752 mL

درجةُ الحرارة T_1 للنيون = $25°C + 273 = 298\ K$

درجةُ الحرارة T_2 للنيون = $50°C + 273 = 323\ K$

لاحظْ أنَّ درجاتِ الحرارةِ المئويةَ قد جرى تحويلُها إلى كلفن، وهذه خطوةٌ مهمةٌ لحلِّ التمارينِ في هذا الفصل.

المجهول: حجمُ النيون V_2 بالـ mL

2 خطِّط

بما أنَّ الغازَ باقٍ تحتَ ضغطٍ ثابت، فإنَّ أيَّ زيادةٍ في درجةِ الحرارةِ ستسبِّبُ زيادةً في الحجم. للحصولِ على V_2 أعدْ ترتيبَ معادلةِ قانونِ شارل.

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

3 احسب

عوضْ قيَم V_1، T_1، T_2 للحصولِ على قيمة V_2 الجديدة.

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{(752\ mL\ Ne)(323\ \cancel{K})}{298\ \cancel{K}} = 815\ mL\ Ne$$

4 قيِّم

فكما هو متوقّع، يزدادُ حجمُ الغازِ بزيادةِ درجةِ حرارتِه. اختُصرَتِ الوحداتُ للحصولِ على ملّيلترات، كما هو مطلوب. يحتوي الجوابُ على العددِ المناسبِ من الأرقامِ المعنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. بالونٌ مليءٌ بغازِ الهيليوم، حجمُه 2.75 L عندَ درجةِ حرارة 20°C. فإذا نقصَ حجمُ البالونِ إلى 2.46 L عندَ وضعِهِ داخلَ مجمِّدِ الثلاجة freezer، فكم تكونُ درجةُ الحرارةِ داخلَ المجمِّدِ بالكلفن K؟ وبالدرجةِ المئوية °C؟

2. غازٌ درجةُ حرارتِه 65°C وحجمُه 4.22 L. عند أيِّ درجةِ حرارةٍ مئويةٍ يصبحُ الحجم 3.87 L، مفترضًا أنَّ الضغطَ بقيَ ثابتًا؟

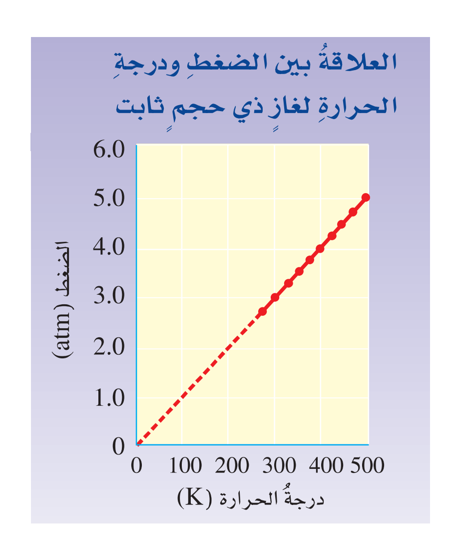
الجواب

1. 262 K؛ −11°C

2. 37°C

قانونُ جايلوساك: العلاقةُ بين الضغطِ ودرجةِ الحرارة

تعلّمتَ العلاقةَ الكميةَ بين الحجمِ ودرجةِ الحرارةِ عند ثباتِ الضغط. ما الذي تتوقَّعُه للعلاقةِ بين الضغطِ ودرجةِ الحرارةِ مع ثباتِ الحجم؟ رأيتَ أن الضغطَ ينتجُ عن اصطدامِ جزيئاتِ الغازِ بجدرانِ الإناءِ الذي يحتويه. وتعتمدُ الطاقةُ وتردّدُ الاصطدامات (عددُها في وحدةِ الزمن) على معدّلِ الطاقةِ الحركيةِ للجزيئات، وهي بدورِها تعتمدُ



الشكل 13-4 يُظهرُ الرسمُ أنَّ ضغطَ الغازِ يتناسبُ طرديًّا مع درجاتِ الحرارةِ بالكلفن، عند ثباتِ الحجم.

على درجةِ الحرارة. في كميةٍ معيَّنةٍ من الغازِ ذاتِ حجمٍ ثابت، يتوجَّبُ أن يتناسبَ الضغطُ طرديًّا مع درجاتِ الحرارةِ بالكلفن، وهي تعتمدُ مباشرةً على معدَّلِ الطاقةِ الحركية.

تتحقَّقُ صحَّةُ هذا الافتراضِ لكلِّ تغيُّرٍ في درجةِ كلفن الحرارية. إذ يتغيَّرُ ضغطُ غازٍ محصورٍ بنسبةِ 1/273 من ضغطِه عند درجةِ حرارة 0ºC. وقد كُرِّمَ جايلوساك عام 1802 لتوصُّلِه إلى هذه الحقيقة. يُوضحُ الرسمُ البيانيُّ في الشكل 13-4 **قانون جايلوساك Gay-Lussac's law**: ***يتناسبُ ضغطُ كتلةٍ معيَّنةٍ من الغازِ طرديًا مع درجةِ الحرارةِ بالكلفن، وذلك عند ثباتِ الحجم.*** ويُعبّرُ عن قانونِ جايلوساك رياضيًّا بالتالي:

$$P = kT \quad \text{أو} \quad \frac{P}{T} = k$$

حيث أنَّ T هي درجةُ الحرارةِ بالكلفن، و k مقدارٌ ثابتٌ تعتمدُ قيمتُه على كميةِ الغازِ وحجمِه. لكتلةٍ معيّنةٍ من غاز لها حجمٌ ثابتٌ تبقى نسبة P/T ثابتةً لأيِّ مجموعةٍ من قيَمِ الضغطِ ودرجةِ الحرارة. يمكنُ حسابُ قيَمِ المجهولِ باستخدامِ هذه الصيغةِ من قانونِ جايلوساك.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

وعندَما تُعرفُ قيَمُ ثلاثةٍ من أربعةِ مقادير (P_1، P_2، T_1، T_2)، يمكنُ حسابُ القيمةِ الرابعة.

مسألةٌ نموذجية 4-4

ضغطُ غازٍ في صفيحةِ معطّرِ جوّ 3.00 atm عند درجةِ حرارة 25ºC. تفيدُ التحذيراتُ على الصفيحةِ بوجوبِ عدمِ تركِها في مكانٍ تزيدُ حرارتُه على 52ºC. ما الضغطُ الذي يبلغُهُ الغازُ عندَ هذه الدرجة؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: ضغطُ الغاز $P_1 = 3.00$ atm

درجةُ حرارةِ الغاز $T_1 = 25ºC + 273 = 298$ K

درجةُ حرارةِ الغاز $T_2 = 52ºC + 273 = 325$ K

المجهول: ضغطُ الغاز P_2 بالـ atm

2 خطِّط

بما أنَّ محتوياتِ الغازِ تبقى بالحجمِ الثابتِ للصفيحة، فإنَّ أيَّ زيادةٍ في درجةِ الحرارةِ ستسببُ زيادةً في الضغط. أعدّ ترتيبَ معادلةِ قانون جايلوساك لتحصلَ على قيمةِ P_2.

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

3 **احسب** عوِّضْ قِيَمَ P_1، T_1، T_2 للحصولِ على قيمةِ الضغطِ الجديدة P_2.

$$P_2 = \frac{P_1T_2}{T_1} = \frac{(3.00\ \text{atm})(325\ \text{K})}{298\ \text{K}} = 3.27\ \text{atm}$$

4 **قيِّم** إنَّ زيادةَ درجةِ الحرارةِ ضمنَ الحجومِ الثابتةِ تسبِّبُ، كما هو متوقّع، زيادةَ ضغطِ المحتوياتِ في الصفيحة. تُختصرُ الوحداتُ بشكلٍ صحيح. يحتوي الجوابُ على العددِ الصحيحِ من الأرقامِ المعنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. قبلَ القيامِ برحلةٍ من مدينةِ القدسِ إلى مكّةَ المكرّمة، كان ضغطُ الهواءِ في إطارِ سيارة 1.8 atm عندَ درجةِ حرارةِ 20ºC. وفي نهايةِ الرحلةِ أصبحَ الضغطُ 1.9 atm. ما درجةُ الحرارةِ الجديدةُ بالدرجةِ المئويةِ داخلَ الإطار؟ (افترضْ أنَّ حجمَ الإطارِ يبقى ثابتًا)
2. عيّنةٌ من النيتروجين يبلغُ ضغطُها 1.07 atm عندَ درجةِ حرارةِ 120ºC. ما ضغطُها المتوقَّعُ عند درجةِ حرارةِ 205ºC؟ (مفترضًا ثباتَ الحجم)
3. عيّنةٌ من غازِ الهيليوم، يبلغُ ضغطُها 1.20 atm عند درجةِ حرارةِ 22ºC. ما درجةُ الحرارةِ المئويةِ التي يصلُ عندَها الهيليوم إلى ضغط 2.00 atm؟

الجواب

1. 36ºC
2. 1.30 atm
3. 219ºC

القانونُ العامُّ للغازات

تتعرَّضُ عيّنةٌ من الغازِ لتغيُّراتٍ آنيَّةٍ في درجةِ الحرارةِ والضغطِ والحجم. عندئذٍ، يتوجّبُ مراعاةُ هذه المتغيّراتِ الثلاثة، في الوقتِ نفسِه. وللتبسيطِ يتمُّ التعامل، في هذه الحالةِ، بجمعِ قوانينِ بويْل وشارل وجايلوساك في صيغةٍ واحدة. **يُعبِّرُ القانونُ العامُّ للغازاتِ combined gas law** ***عن العلاقةِ بين ضغطِ كميةٍ معيَّنةٍ من الغازِ وحجمِها ودرجةِ حرارتِها***. ويمكنُ تمثيلُ القانونِ بالصيغةِ الرياضيةِ التالية:

$$\frac{PV}{T} = k$$

حيث إنَّ k مقدارٌ ثابتٌ يعتمدُ على كميةِ الغاز. ويمكنُ إعادةُ كتابةِ صيغةِ القانونِ العامِّ للغازاتِ هكذا:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

تمثِّلُ الأرقامُ السفليةُ في المعادلةِ مجموعتينِ من الظروف، وتمثِّلُ T درجةَ الحرارةِ بالكلفن. ويمكنُ من هذه المعادلةِ حسابُ أيِّ عاملٍ من العواملِ الستة، شرطَ معرفةِ الخمسةِ الأخرى. لاحظْ أنه يمكنُ الحصولُ على أيٍّ من قوانينِ الغازاتِ الثلاثة، من القانونِ العامِ للغازاتِ، مع ثباتِ المتغيِّرِ المناسب. لذلك، يمكنُ عند ثباتِ درجةِ الحرارة،

اختصارُ T من طرفَي المعادلةِ العامّة، لأن T تمثِّلُ القيمة نفسَها $(T_1 = T_2)$. وبالتالي نحصلُ على قانونِ بويل.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

وفي حالةِ ثباتِ الضغطِ تُختصرُ P من طرفَي المعادلةِ العامّةِ، لأن $P_1 = P_2$. فنحصلُ على قانونِ شارل.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

وعندَ إبقاءِ الحجمِ ثابتًا تُختصرُ قيمةُ V من طرفَي المعادلةِ العامّةِ، لأن $V_1 = V_2$. فتحصلُ على قانونِ جايلوساك.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

مسألةٌ نموذجية 5-4

بالونٌ مليءٌ بالهيليوم حجمُه 50.0 L عند درجةِ حرارةِ 25°C وتحت ضغط 1.08 atm. ما حجمُ البالونِ عندَما يصبحُ الضغطُ 0.855 atm ودرجةُ الحرارةِ 10°C؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: حجمُ الهيليوم $V_1 = 50.0\ L$

درجةُ حرارةِ الهيليوم $T_1 = 25°C + 273 = 298\ K$ — ضغطُ الهيليوم $P_1 = 1.08\ atm$

درجةُ حرارةِ الهيليوم $T_2 = 10°C + 273 = 283\ K$ — ضغطُ الهيليوم $P_2 = 0.855\ atm$

المجهول: حجمُ الهيليوم V_2 بالـ L

2 خطِّط

بما أنَّ الغازَ تتغيَّرُ درجةُ حرارتِه وضغطُه، يطبَّقُ القانونُ العامُّ للغازات. أعدْ ترتيبَ القانونِ العامِّ للغازاتِ، لإيجادِ الحجمِ النهائيّ V_2.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$

3 احسب

عوِّضِ القيمَ المعلومةَ في المعادلة، واحسبْ للحصولِ على قيمة V_2.

$$V_2 = \frac{(1.08\ atm)(50.0\ L\ He)(283\ K)}{(0.855\ atm)(298\ K)} = 60.0\ L\ He$$

4 قيِّم

من الواضحِ أنَّ الضغطَ في حالةِ تناقص، وأنَّ تناقصَهُ أكثرُ من تناقصِ درجةِ الحرارةِ بالكلفن. وكما هو متوقَّع، فإنَّ المحصَّلةَ النهائيةَ للتغيُّرَين تُنتِجُ زيادةً في الحجم، إذ تتغيَّرُ من 50.0 L إلى 60.0 L، مع اختصارِ الوحداتِ المتشابهةِ في طرفَي المعادلةِ، وتقريبِ الجوابِ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. غازٌ حجمُه 27.5 mL عندَ درجةِ حرارة 22.0°C، وتحت ضغطٍ 0.974 atm. ما حجمُه عندَ درجةِ حرارة 15.0°C وتحتَ ضغطٍ 0.993 atm؟

2. عيّنةٌ من غازٍ حجمُها 700. mL تحت الشروطِ القياسية STP تمَّ ضغطُها إلى حجمٍ 200. mL، حيث زيدتْ حرارةُ الغازِ إلى 30.0°C. ما ضغطُ الغازِ الجديدِ مقيسًا بالـ Pa؟

الجواب

1. 26.3 mL

2. 3.94×10^5 Pa أو 394 kPa

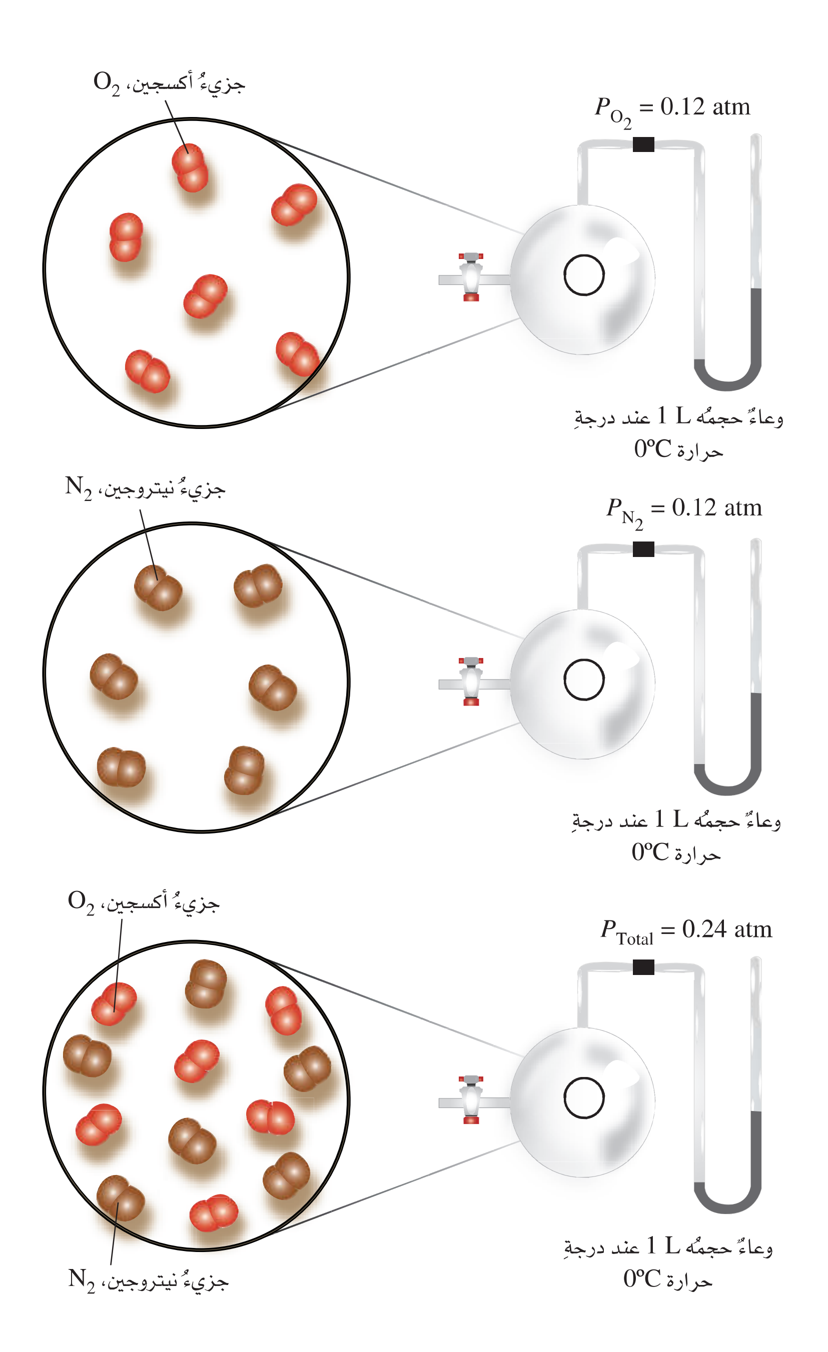
قانونُ دالتون للضغوطِ الجزئية

درسَ جون دالتون، الكيميائيُّ الإنجليزيُّ الذي وضعَ النظريةَ الذرّية، مزْجَ الغازات، فوجدَ أن ضغطَ مزيجٍ من الغازاتِ غيرِ المتفاعلةِ يساوي مجموعَ ضغوطِ هذه الغازاتِ منفردة. يبيّنُ الشكلُ 4-14 وعاءً حجمُه 1 L مليئًا بغازِ الأكسجين الواقعِ تحتَ ضغط 0.12 atm وعند درجةِ حرارة 0°C. وفي وعاءٍ آخرَ يؤثِّرُ عددٌ مساوٍ من جزيئاتِ غازِ النيتروجين بضغطٍ مقدارُه 0.12 atm عندَ درجةِ حرارةِ 0°C. جُمعَتْ عيّنتا الغازَين بعدئذٍ داخلَ وعاءٍ حجمُه 1.0 L (عندَ حرارةِ 0°C يكونُ كلٌّ من غازَي الأكسجين والنيتروجين غير متفاعل). عندَ قياسِ الضغطِ الكلّيِّ داخلَ الوعاءِ وجدَ أنه يبلغُ 0.24 atm عندَ درجةِ حرارة 0°C. الضغطُ الذي يمارسهُ كلُّ غازٍ ضمنَ مزيجٍ من غازاتٍ مستقلٌّ عن الضغوطِ التي تمارسُها بقيةُ الغازات. ***يُسمّى ضغطُ كلِّ غازٍ في مزيجٍ من الغازاتِ الضغطَ الجزئي* partial pressure *لذلكَ الغاز.* يَنصُّ قانونُ دالتون للضغوطِ الجزئية Dalton's law of partial pressures *على التالي: الضغطُ الكليُّ لمزيجٍ من غازاتٍ يساوي مجموعَ الضغوطِ الجزئيةِ للغازاتِ التي يتكوّنُ منها.*** والقانونُ قابلٌ للتطبيق، بغضِّ النظرِ عن أنواعِ الغازاتِ الموجودة. ويمكنُ التعبيرُ عن القانونِ رياضيًّا بالتالي:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$$

يمثّلُ P_T الضغطَ الكليَّ للمزيج. و P_1، P_2، P_3، ... هي الضغوطُ الجزئيةُ لمكوّناتِ المزيجِ من الغازات 1، 2، 3، ...إلخ.

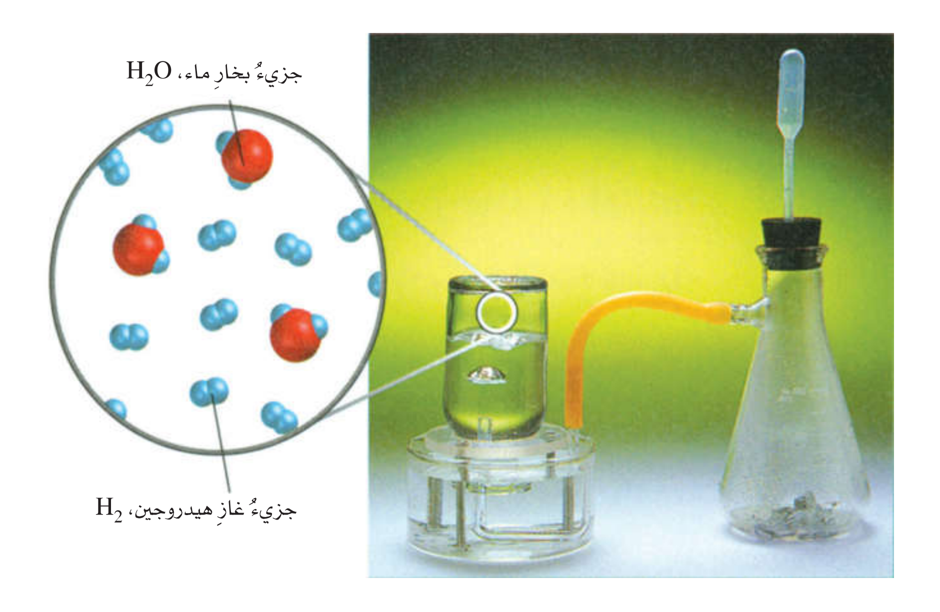
يمكنُ فهمُ قانونِ دالتون من خلالِ مفهومِ نظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ الذي يشيرُ إلى أنَّ الجسيماتِ المتحرّكةَ لكلِّ غازٍ من غازاتِ المزيج، لها فرصٌ متساويةٌ للاصطدامِ بجدرانِ الوعاء. لذلك، فإنَّ كلَّ غازٍ يمارسُ ضغطًا مستقلاً عما تمارسُه بقيةُ الغازاتِ من ضغوط. ويكونُ الضغطُ الكليُّ ناتجًا عن مجموعِ الاصطداماتِ التي تمارسُها الغازاتُ على وحدةِ مساحةٍ من الجدارِ في وحدةِ زمن. (لاحظْ أنّهُ بسببِ حركةِ جسيماتِ الغازِ المستقلّةِ، يمكنُ تطبيقُ القوانينِ الأخرى للغاز، بالإضافةِ إلى قانونِ دالتون، على مزيجِ الغازاتِ غيرِ المتفاعلة.



الشكل 14-4 عيّنتانِ من غازيِ الأكسجين والنيتروجين اللذين تمَّ مزجُهما في وعاءٍ واحد. الضغطُ الكليُّ للغازين في الوعاءِ يساوي حاصلَ جمعِ ضغطَيِ الغازين.

عمليةُ تجميعِ الغازاتِ بإزاحةِ الماء

معظمُ الغازاتِ المنتجَةِ في المختبر يتمُّ تجميعُها فوقَ الماء. الغازُ الناتجُ عن التفاعل يزيحُ الماءَ في مخبارِ جمعِ الغاز، كما يتبيّنُ في الشكل 4-15. بإمكانِكَ استعمالُ قانونِ دالتون للضغوطِ الجزئيةِ في حسابِ ضغطِ الغازاتِ الناتجةِ بهذه الطريقة. إذ لا يكونُ الغازُ، المجمَّعُ بطريقِ إزاحةِ الماء، نقيًّا، بل ممزوجًا ببخارِ الماءِ على الدوام. والسببُ في ذلك هو



الشكل 15-4 يمكنُ جمعُ الهيدروجين، عن طريقِ إزاحةِ الماءِ، وذلك بتفاعل الخارصين مع حمضِ الكبريتيك . يزيحُ غازُ الهيدروجين المتكوِّنُ الماءَ من مخبارِ جمعِ الغازِ الذي أصبحَ يحتوي على كميةٍ من بخارِ الماء.

تبخُّرُ جزيئاتِ الماءِ من سطحِ السائلِ وامتزاجُها بجزيئاتِ الغاز. يمارسُ بخارُ الماء، كغيرِهِ من الغازاتِ، ضغطًا يُسمّى الضغطَ الجزئيَّ لبخارِ الماء.

لمعرفةِ الضغطِ الكلّيِّ للغازِ وبخارِ الماء، داخلَ المخبار، يتوجَّبُ رفعُ المخبار، حتى يتساوى مستوى الماءِ داخلَ المخبارِ وخارجَه. وفي هذه الحالة يصبحُ الضغطُ الكلّيُّ داخلَ المخبارِ مساويًا للضغطِ الجوي، P_{atm}، طبقًا لقانونِ دالتون في الضغوطِ الجزئية، أي:

$$P_{atm} = P_{gas} + P_{H_2O}$$

وإذا أردْتَ حسابَ الضغطِ الجزئيِّ للغاز (الجافّ) فقط دونَ بخارِ الماء، عليكَ قراءةَ الضغطِ الجوي P_{atm} على جهازِ البارومتر في المختبر. ولإجراءِ الحسابات، اطرحْ ضغطَ بخارِ الماءِ عندَ درجةِ الحرارةِ المحدّدةِ من الضغطِ الكلّي. يتغيَّرُ ضغطُ بخارِ الماءِ بتغيُّرِ درجةِ الحرارة، وما عليك إلا قراءةُ قيمةِ P_{H_2O} الموافقةِ لدرجةِ حرارةِ المختبر، حيث تُجري تجربتَك، على جدولٍ قياسيّ، كالموجودِ في الجدول (أ-6) صفحة 198.

مسألةٌ نموذجية 6-4

تمَّ تجميعُ غازِ الأكسجين الناتجِ عن تفكُّكِ كلوراتِ البوتاسيوم $KClO_3$ بطريقةِ إزاحةِ الماء. وكانتْ قيمتا الضغطِ الجويِّ ودرجةِ الحرارةِ في أثناءِ إجراءِ التجربة 731.0 torr و 20.0°C على التوالي. ما الضغطُ الجزئيُّ للأكسجينِ المجمّع؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: $P_T = P_{atm} = 731.0$ torr

$P_{H_2O} = 17.5$ torr (الضغطُ الجزئيُّ لبخارِ الماءِ عندَ درجةِ حرارة 20°C، من الجدول (أ-6) صفحة 198)

$$P_{atm} = P_{O_2} + P_{H_2O}$$

المجهول: P_{O_2} بالـ torr

2 **خطّط** يتمُّ إيجادُ قيمةِ الضغطِ الجزئيِّ للأكسجين المجمّع بطرحِ قيمةِ الضغطِ الجزئيِّ لبخارِ الماءِ من قيمةِ الضغطِ الجوّي، وفقًا لقانونِ دالتون في الضغوطِ الجزئية.

$$P_{O_2} = P_{atm} - P_{H_2O}$$

3 **احسب** عوِّضِ القِيمَ لـ P_{atm} و P_{H_2O} يعطي P_{O_2}.

$$P_{O_2} = 731.0 \text{ torr} - 17.5 \text{ torr} = 713.5 \text{ torr}$$

4 **قيِّم** إنَّ الضغطَ الجزئيَّ للأكسجين، كما هو متوقَّع، أقلُّ من الضغطِ الجويّ. وهو أيضًا أكبرُ بكثيرٍ من ضغطِ بخارِ الماءِ الجزئيِّ عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها. والجوابُ مقرّبٌ إلى أرقامٍ معنويةٍ مناسبة.

تمارينُ تطبيقية

1. جُمِعَ غازُ الهيدروجين فوقَ الماءِ عندَ درجةِ حرارة 20.0°C، وكان مستوى الماءِ داخلَ المخبارِ وخارجَه هو نفسَه، وكان الضغطُ الجزئيُّ للهيدروجين 742.5 torr. ما الضغطُ الجوّيُّ وقتَ تجميعِ الغاز؟

2. جُمِعَ غازُ الهيليوم فوقَ الماءِ عندَ درجةِ حرارةِ 25.0°C. ما الضغطُ الجزئيُّ للهيليوم، إذا علمْتَ أنَّ الضغطَ الجوّيَّ 750.0 mm Hg؟

الجواب

1. 760.0 torr

2. 726.2 mm Hg

مراجعةُ القسم 3-4

1. اكتبِ العلاقاتِ الرياضيةَ المعبِّرةَ عن قانونِ بويِل، وقانونِ شارل، والقانونِ العامِّ للغازات.

2. عيّنةٌ من غازِ الهيليوم حجمُها 200.0mL تحتَ ضغطِ 0.960 atm. ما الضغطُ اللازمُ (بالـ atm) لتحويلِ الحجمِ إلى 50.0 mL عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة؟

3. يبلغُ حجمُ كميةِ غازٍ ما 0.750 L عندَ 298 K. ما درجةُ الحرارةِ (المئوية) التي تحوِّلُ حجمَ هذه الكميةِ إلى 0.500 L مفترضًا ثباتَ الضغط؟

4. تحتوي صفيحةُ ملطِّفٍ جوٍّ على غازاتٍ تحتَ ضغطِ 4.50 atm وعند درجةِ حرارة 20.0°C. إذا تُركَتِ الصفيحةُ في مكانٍ حارّ، كشاطئٍ رمليٍّ مثلاً، يرتفعُ ضغطُ الغازاتِ إلى 4.80 atm. ما درجةُ الحرارةِ المئويةِ على الشاطئ؟

5. ناقشْ معنى درجةِ حرارةِ الصفرِ المطلق.

6. جُمِعَتْ كميةٌ من الأكسجين فوقَ الماءِ، لدى تفكُّكِ كلوراتِ البوتاسيوم بالتسخين. حجمُ عيّنةِ الأكسجين المجمّعةِ هو 720. mL عندَ درجةِ حرارة 25.0°C وتحت ضغطٍ جويّ 755 torr. كم يكونُ حجمُ الأكسجين تحتَ شروطِ STP؟ (توضيح: احسبْ أولاً الضغطَ الجزئيَّ للأكسجين باستعمالِ الجدول (أ-6) ص 198 والقانونِ العامِّ للغازات)

مراجعةُ الفصل 4

ملخّصُ الفصل

1-4

- تُستخدمُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ للمادةِ في تفسيرِ خصائصِ الغازاتِ والسوائلِ والموادِّ الصلبة.
- تصفُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ للغازاتِ نموذجًا لغازٍ مثاليّ. يقتربُ سلوكُ معظمِ الغازاتِ من الغازاتِ المثالية، إلاّ في حالتَي الضغوطِ العاليةِ ودرجاتِ الحرارةِ المنخفضة.
- تتألّفُ الغازاتُ من أعدادٍ كبيرةٍ من الجسيماتِ الدقيقةِ المتحرِّكةِ والمتباعدةِ، قياسًا على حجومِها. ويعتمدُ معدلُ الطاقةِ الحركيةِ لجسيماتِ الغازِ على درجةِ حرارةِ الغاز.
- تتمدّدُ الغازاتُ، وتنساب، ولها كثافةٌ منخفضة، كما أنّها قابلةٌ للانضغاطِ والانتشارِ والتدفُّق.

المفردات

الانتشار (101) diffusion
التدفق (101) effusion
التصادمُ المرن (99) elastic collision
الغازُ الحقيقيّ (102) real gas
الغازُ المثاليّ (99) ideal gas
الموائع (100) fluids
نظريةُ الحركة الجزيئية (99) kinetic-molecular theory

2-4

- تسمحُ شروطُ درجةِ الحرارةِ والضغطِ القياسيَّيْن (STP) بمقارنةِ حجومِ الغازاتِ المختلفة.
- الكمياتُ الأربعُ القابلةُ للقياس، والتي تلزمُ لتوصيفِ الغاز، هي الضغطُ والحجمُ ودرجةُ الحرارةِ وعددُ الجزيئات.
- يتغيَّرُ الضغطُ الجويّ بتغيُّرِ ظروفِ الطقسِ والارتفاع.
- يقيسُ البارومتر ضغطَ الهواء، فيما يقيسُ المانومتر ضغطَ الغازِ داخلَ الأوعيةِ المغلقة.

المفردات

البارومتر (106) barometer
باسكال (107) pascal
تور (107) torr
درجةُ الحرارةِ والضغطِ القياسيان (108) standard temperature and pressure
الضغط (104) pressure
الضغطُ الجويّ (107) atmospheric pressure
مليمتر زئبق (107) millimeter of mercury
نيوتن (105) newton

3-4

- يُظهرُ قانونُ بويْل العلاقةَ العكسيةَ بين حجمِ الغازِ وضغطِه.

$$PV = k$$

- يوضحُ قانونُ شارل العلاقةَ الطرديةَ بين حجمِ الغازِ ودرجةِ حرارتِهِ بالكلفن.

$$V = kT$$

- يمثِّلُ قانونُ جايلوساك العلاقةَ الطرديةَ بين ضغطِ الغازِ ودرجةِ حرارتِهِ بالكلفن.

$$P = kT$$

- يجمعُ القانونُ العامُّ للغازات، كما يشيرُ اسمُه، العلاقاتِ السابقةَ في علاقةٍ رياضيةٍ واحدة، هي:

$$\frac{PV}{T} = k$$

- يُؤثِّرُ الغازُ بضغطٍ على جدرانِ وعائِه. وفي مزيجٍ من غازاتٍ غيرِ متفاعلة، يكونُ الضغطُ مساويًا لمجموعِ الضغوطِ الجزئيةِ لغازاتِ المزيج.

المفردات

الصفرُ المطلق (113) absolute zero
الضغطُ الجزئيّ (119) partial pressure
قانونُ بويْل (110) Boyle's law
قانونُ جايلوساك (116) Gay-Lussac's law
قانونُ دالتون للضغوطِ الجزئية (119) Dalton's law of partial pressures
قانونُ شارل (113) Charles's law
القانونُ العامُّ للغازات (117) combined gas law
قوانينُ الغازات (109) gas laws

مراجعةُ الفصل 4

مراجعة المفاهيم

1. ما الفكرةُ التي تأسَّستَ عليها نظريةُ الحركةِ الجزيئية؟

2. ما الغازُ المثاليّ؟

3. اذكرِ الفرضياتِ الخمسَ الأساسيةَ لنظريةِ الحركةِ الجزيئية.

4. قارنْ بينَ الغازاتِ والسوائلِ والموادِّ الصلبة، من حيثُ المسافةُ بين جزيئاتِها.

5. ما التصادمُ المرن؟

6. أ. اكتبِ العلاقةَ الرياضيةَ التي تجمعُ بين معدلِ الطاقةِ الحركيةِ وسرعةِ جزيئاتِ الغاز.
ب. ما العلاقةُ بينَ درجةِ الحرارة والسرعة والطاقةِ الحركيةِ لجزيئات غاز؟

7. أ. ما الانتشار؟
ب. ما العواملُ المؤثرةُ في معدلِ انتشارِ غازٍ خلالَ غازٍ آخر؟
ج. ما العلاقةُ بين كتلةِ جسيم غازٍ ومعدلِ انتشارِه خلالَ غازٍ آخر؟
د. ما التدفُّق؟

8. أ. لماذا يُمارسُ الغازُ المحصورُ في وعاءٍ مغلقٍ ضغطًا؟
ب. ما العلاقةُ بين المساحةِ المعرَّضة لقوةٍ والضغطِ الناتج؟

9. أ. ما الضغطُ الجويّ؟
ب. ما قيمةُ الضغطِ الجويّ عندَ مستوى سطحِ البحر، مقيسًا بـ N/cm^2؟

10. أ. لماذا يرتفعُ عمودٌ من الزئبقِ داخلَ أنبوبةٍ مقلوبةٍ موضوعةٍ في إناءٍ يحتوي على الزئبقِ عندَ مستوى سطحِ البحرِ مسافة 760 mm؟
ب. ما الارتفاعُ الذي يصلُ إليه عمودٌ من الماءِ في أنبوبٍ مقلوبٍ في إناءٍ يحتوي على ماءٍ عندَ مستوى سطحِ البحر؟
ج. ما الذي يسبِّبُ الاختلافَ في ارتفاعِ عمودَيِ الماءِ والزئبق؟

11. أ. حدّدْ ثلاثَ وحداتٍ تُستخدمُ للتعبيرِ عن الضغط.
ب. حوِّلْ ضغطًا جويًّا واحدًا (1 atm) إلى torr.
ج. ما الباسكال؟
د. ما الوحدةُ بنظامِ SI الدوليِّ المكافئةُ لضغطٍ جوّيٍّ قياسيٍّ واحد؟

12. أ. كيف يتغيَّرُ حجمُ كميةٍ معيّنةٍ من غازٍ مع درجةِ الحرارةِ مفترضًا ثباتَ الضغط؟
ب. كيفَ يفسِّرُ هذا الأمرُ الخطورةَ الناجمةَ عن رمي صفيحةِ ملطِّفِ جوٍّ في النار؟

13. أ. ما درجةُ الحرارةِ بالنظامِ المئويِّ المكافئةُ للصفْرِ المطلق؟
ب. ما أهميةُ درجةِ الحرارةِ هذه للغاز؟
ج. ما العلاقةُ بينَ درجةِ الحرارةِ بالكلفن ومعدلِ الطاقةِ الحركيةِ لجزيئاتِ الغاز؟

14. أ. وضّحِ المقصودَ بالضغطِ الجزئيِّ لكلِّ غازٍ ضمنَ مزيجِ غازات.
ب. كيف يؤثِّرُ الضغطُ الجزئيُّ لكلٍّ من غازاتِ مزيجٍ غازيّ على ضغوطِ الغازاتِ الأخرى؟

مسائل

تحويلُ وحداتِ الضغطِ ودرجةِ الحرارة

15. إذا كانَ بمقدورِ الغلافِ الجوِّيِّ أن يسندَ عمودًا من الزئبقِ ارتفاعُه 760 mm عندَ مستوى سطحِ البحر، فما الارتفاعُ (mm) الذي يسندُهُ الغلافُ الجوّيُّ لكلٍّ مما يلي:
أ. ماءٍ كثافتُهُ التقريبية 1/14 قياسًا بالزئبق.
ب. سائلٍ افتراضيٍّ كثافتُه 1.40 من كثافةِ الزئبق.

16. حوِّلْ كلاًّ مما يلي إلى قراءةِ ضغطٍ بالـ «تور» torr. (انظر المسألةَ النموذجية 4-1)
أ. 1.25 atm
ب. 2.48×10^{-3} atm

17. حوِّلْ كلاًّ مما يأتي إلى الوحدةِ المحدَّدة:
أ. 125 mm Hg إلى atm
ب. 3.20 atm إلى Pa
ج. 5.38 kPa إلى torr

18. حوِّلِ الدرجتَينِ المئويتَينِ إلى الكلفن.
أ. 0°C
ب. −273°C

19. حوِّلِ الدرجتَينِ الحراريتَينِ بالكلفن إلى درجتَينِ مئويتَين.
أ. 273 K
ب. 20. K

قانونُ بويْل

20. استخدمْ قانونَ بويْل لإيجادِ القيمةِ المجهولةِ في كلٍّ مما يلي (انظرِ المسألةَ النموذجية 4-2):

أ. $P_1 = 350.$ torr، $V_1 = 200.$ mL،
$P_2 = 700.$ torr، $V_2 = ؟$

ب. $P_1 = 0.75$ atm، $V_2 = 435$ mL،
$P_2 = 0.48$ atm، $V_1 = ؟$

21. زادَ الضغطُ المؤثِّرُ على 240. mL من الهيدروجين، من 0.428 atm إلى 0.724 atm. ما الحجمُ النهائيُّ الذي ستكونُ عليه العيّنة، مع ثباتِ درجةِ الحرارة؟

22. تحتوي زجاجةٌ على $155\ cm^3$ من الهيدروجين تحتَ ضغطِ 22.5 kPa. ما الضغطُ اللازمُ ليصلَ حجمُ الغازِ إلى $90.0\ cm^3$، مع افتراضِ ثباتِ درجةِ الحرارة؟

23. غازٌ حجمُه 450.0 mL، ما الحجمُ الذي يشغلُهُ الغازُ، مع ثباتِ درجةِ الحرارة، إذا أصبحَ ضغطُه:

أ. مضاعفًا؟ (عوِّضْ عن P_2 بدلالة P_1)

ب. ربعَ حجمِه الأصليّ؟

قانونُ شارل

24. استخدمْ قانونَ شارل لإيجادِ القيمِ المجهولةِ فيما يلي (انظرِ المسألةَ النموذجية 4-3):

أ. $V_1 = 80.0$ mL، $T_1 = 27$°C، $T_2 = 77$°C، $V_2 = ؟$

ب. $V_1 = 125$ L، $V_2 = 85.0$ L، $T_2 = 127$°C، $T_1 = ؟$

25. عيّنةُ هواءٍ حجمُها 140.0 mL عندَ درجةِ حرارة 67°C. عندَ أيِّ درجةِ حرارةٍ يصبحُ حجمُها 50.0 mL، مع ثباتِ الضغط؟

26. غازٌ حجمُهُ 275 mL عند درجةِ الحرارةِ القياسية، رُفِعَتْ درجةُ حرارتِه إلى 130.°C. ما حجمُه الجديدُ، مع ثباتِ الضغط؟

قانونُ جايلوساك

27. عيّنةٌ من غازِ الهيدروجين ضغطُها 0.329 atm عندَ درجةِ حرارة 47°C. سُخِّنَتْ إلى درجةِ حرارة 77°C، فما ضغطُها الجديد، عند ثباتِ الحجم؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 4-4)

28. تضاعفَ ضغطُ غازٍ موجودٍ عند درجةِ حرارة 73°C− لكنَّ حجمَه بقيَ ثابتًا. ما درجةُ الحرارةِ النهائيةِ مقيسةً بالدرجاتِ المئوية؟

القانونُ العام للغازات

29. تشغلُ عيِّنةُ غازٍ موجودةٌ عند درجةِ حرارة 47°C وتحت ضغط 1.03 atm حجمًا مقدارُه 2.20 L. ما الحجمُ الذي تشغلُه العيِّنةُ وهي عندَ درجةِ حرارة 107°C وتحت ضغط 0.789 atm؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 4-5)

30. تمَّ جمعُ عيِّنةِ هواءٍ حجمُها 350. mL عندَ درجةِ حرارةِ 35°C وتحت ضغطِ 550. torr. ما الضغطُ الذي يمارسُه الهواءُ إذا ما تُركَ يتمدّدُ إلى 425 mL عندَ درجةِ حرارة 57°C؟

31. غازٌ حجمُه 1.75 L عندَ درجةِ حرارة 23°C−، وتحت ضغط 150. kPa. عند أيِّ درجةِ حرارةٍ يشغلُ الغازُ حجمًا مقدارُهُ 1.30 L عندَما يكونُ ضغطُه 210. kPa؟

32. عيِّنةُ أكسجين عندَ درجةِ حرارة 40.°C تشغلُ حجمَ 820. mL . إذا شغلَتِ العيِّنةُ بعدئذٍ حجمًا مقدارُه 1250 mL عندَ درجةِ حرارة 60.°C وتحت ضغط 1.40 atm، فما ضغطُها الأصليّ؟

33. يحتوي بالونُ أرصادٍ جوّيةٍ على 250. L من الهيليوم عندَ درجةِ حرارة 22°C وتحت ضغط 740. mm Hg. إذا كانَ حجمُ البالونِ متغيِّرًا تبعًا للظروفِ الخارجية، فما الحجمُ الذي سيتّخذُه على الارتفاعِ الذي تكونُ عندَه درجةُ الحرارة 52°C− والضغطُ 0.750 atm؟

34. سينفجرُ البالون، في السؤال السابق، عندَما يصلُ حجمُه إلى 400. L. عندَ أيّ درجةِ حرارةٍ (مئوية) سينفجرُ البالون، إذا كان ضغطُه عندَ الانفجارِ 0.475 atm؟

35. معدَّلُ تنفُّسِ الإنسانِ الطبيعيِّ حوالي 15.0 مرّةً في الدقيقة. ومعدَّلُ حجمِ الهواءِ لكلِّ مرّةٍ يحصلُ فيها التنفُّسُ هو $505\ cm^3$ عندَ درجةِ حرارة 20.°C وتحت ضغط 9.95×10^4 Pa. كم يبلغُ حجمُ الهواءِ الذي يتنفَّسُه إنسانٌ في يوم تحت شروطِ STP؟ ليكنْ جوابُك بالأمتارِ المكعَّبة.

قانونُ دالتون للضغوطِ الجزئية

36. مكوِّناتُ الهواءِ الرئيسةُ الثلاثةُ، هي ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين والأكسجين. وفي مزيجٍ من هذه الغازاتِ الثلاثة، موجودٍ تحت ضغطٍ جويٍّ مقدارُهُ 1 atm، يكونُ الضغطُ الجزئيُّ لكلٍّ من ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين كالتالي: P_{CO_2} = 0.285 torr و P_{N_2} = 593.525 torr. فما الضغطُ الجزئيُّ للأكسجين؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 4-6)

37. حدِّدْ قيمةَ الضغطِ الجزئيِّ للأكسجين المجمَّع بطريقةِ إزاحةِ الماء، إذا كانتْ درجةُ حرارةِ الماءِ 20.0°C والضغطُ الكلّيُّ للغازاتِ في المخبارِ 730.0 torr.

38. جُمِّعتْ عيّنةٌ من غازٍ في وعاءٍ حجمُه 175 mL فوقَ الماءِ عندَ درجةِ حرارة 15°C وتحت ضغطٍ جويٍّ 752.0 torr. ما الحجمُ الذي يشغلُه الغازُ تحتَ ضغط 770.0 torr وعند درجةِ حرارة 15°C؟

39. جُمِّعَ 120.0 mL من الأرجون فوقَ الماءِ عندَ درجةِ حرارة 25°C وتحت ضغط 780.0 torr. احسبْ حجمَ الأرجون الجافّ (الخالي من بخارِ الماء) تحت شروطِ STP.

مراجعةٌ متنوعة

40. تسلّمَ طفلٌ بالونًا مليئًا بـ 2.30 L من غازِ الهيليوم من معلّمِهِ في المدرسة. فإذا كانتْ درجةُ الحرارةِ في المدرسة 311 K، كم يصبحُ حجمُ البالون في بيتِه المكيَّفِ عندَ درجةِ حرارة 295 K، مع افتراضِ ثباتِ الضغط؟

41. تشغلُ عيِّنةٌ من غازِ الأرجون حجمَ 295 mL عندَ درجةِ حرارة 36°C. ما الحجمُ الذي يشغلُه الغازُ عندَ درجةِ حرارة 55°C، مع افتراضِ ثباتِ الضغط؟

42. تشغلُ عيِّنةٌ من غازِ ثاني أكسيد الكربون 638 mL تحتَ ضغطِ 0.893 atm وعند درجةِ حرارة 12°C. ما ضغطُ الغازِ عندَما يصبحُ حجمُه 881 mL ودرجةُ حرارتِه 18°C؟

43. يمارسُ غازٌ درجةُ حرارتِه 84°C ضغطًا مقدارُه 0.503 atm. كم تكونُ درجةُ حرارةِ الغازِ عندَما يصبحُ ضغطُهُ 1.20 atm، مع افتراضِ ثباتِ حجمِ الوعاء؟

44. بالونُ أرصادٍ على سطحِ الأرضِ حجمُه 4.00 L تحتَ ضغط 755 mm Hg وعند درجةِ حرارة 304 K. فإذا أُطلقَ البالونُ وصارَ حجمُه 4.08 L تحتَ ضغط 728 mm Hg، فكم تكونُ درجةُ حرارتِه؟

45. غازٌ ضغطُه 4.62 atm عندَما يكونُ حجمُه 2.33 L. ما ضغطُه عندَما يتغيَّرُ حجمُه إلى 1.03 L، مع افتراضِ ثباتِ درجةِ الحرارة؟ عبِّرْ عن الضغطِ النهائيِّ بـ torr.

46. في محطةٍ عمقُها 200. m تحتَ سطحِ البحر، يعيشُ العاملونَ في وسَطٍ مضغوط. ما عددُ لترات الغازِ تحت شروطِ STP الواجبِ ضخُّها على السطحِ لملءِ المحطةِ بـ 2.00×10^7 L منه، تحت ضغط 20.0 atm؟ افترضْ ثباتَ درجةِ الحرارة.

تفكيرٌ ناقد

47. **استعمالُ نماذج:**

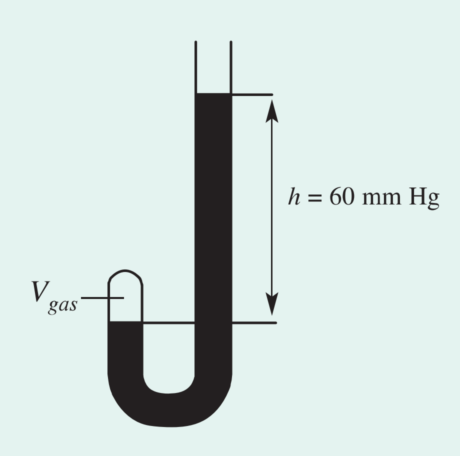
أ. لماذا يمثِّلُ الشكلُ 4-10 صفحة 120 علاقةً عكسية؟

ب. لماذا تمثِّلُ البياناتُ المرسومةُ في الشكلِ 4-12 صفحة 124 علاقةً طردية؟

48. **مقارنةُ أفكار:** وضِّحْ سببَ تساوي الطاقةِ الحركيةِ لغازاتٍ مختلفةٍ في مزيجٍ، حتى وإن اختلفَتْ كتلُ جسيماتِ هذه الغازاتِ بعضُها عن بعض.

49. **استنتاجاتٌ دالّة:** لو سلكَتِ الغازاتُ جميعًا في مختلفِ شروطِ درجةِ الحرارةِ والضغطِ سلوكًا وكأنها مثالية، لن تكونَ هنالكَ حالاتٌ سائلةٌ أو صلبةٌ للمادة. كيفَ تفسِّرُ ذلك؟

50. **تفسيرُ رسمٍ بيانيّ:** تفحَّصْ أنبوبَ بويْل الشبيهَ بالحرفِ J الواضحَ في الصورة. الأنبوبُ مفتوحٌ من أعلى، والطرفُ الآخرُ مغلقٌ ويحتوي على غازٍ بحجمٍ يُعرفُ بـ V_{gas}. فإذا كانَ h = 60 mm Hg فما الضغطُ الذي يؤثّرُ به الغازُ المحصور؟



بحثٌ وكتابة

51. حضِّرْ تقريرًا عن تطوُّرِ الغواصةِ الحديثة، يتضمّنُ تفصيلاتٍ في التقنيةِ التي مكّنَتِ الغواصةَ من تحمُّلِ الضغوطِ الهائلةِ في الأعماق. كذلك، اكتبْ عن الأجهزةِ المستخدمةِ لتوفيرِ كميةٍ كافيةٍ من الأكسجين لاحتياجاتِ طاقَمِ الغواصة.

52. اكتبْ تقريرًا عن محاولاتِ الوصولِ إلى الصفرِ المطلق، وعن الخصائصِ المميّزةِ التي تُظهرُها الموادُّ عندَ هذه الدرجة.

تقويمٌ بديل

53. يتوجَّبُ فحصُ ضغطِ الهواءِ في إطاراتِ السيارةِ بانتظام، لدواعي السلامة، ولمنعِ الحفِّ أو (التآكلِ) غيرِ المتساوي لسطحِ الإطاراتِ الخارجي. جدْ وحداتِ القياسِ المستخدمةَ في مقياسِ الضغطِ المألوفِ للإطارات، وحدّدِ العلاقةَ بينَ ضغطِ الهواءِ في الإطارِ والضغطِ الجوّيّ.

الفصـــل 5

التركيبُ الجزيئيُّ للغازات



تؤدّي دراسةُ الغازاتِ إلى صياغةِ القوانينِ والمبادئِ التي تشكّلُ حجرَ الأساسِ للكيمياءِ الحديثة

القسم 1-5

علاقاتُ الحجمِ-الكتلةِ للغازات

مؤشراتُ الأداء

- يذكرُ نصَّ قانونِ الحجومِ المتحدة.
- يذكرُ نصَّ قانونِ أفوجادرو.
- يعرِّفُ الحجمَ الموليَّ القياسيَّ للغاز، ويوظِّفُه لحسابِ كتلِ الغازاتِ وحجومِها.
- يوظِّفُ الحجمَ الموليَّ القياسيَّ في حسابِ الكتلةِ الموليةِ للغاز.

ستدرسُ في هذا القسمِ العلاقاتِ بين حجومِ الغازاتِ التي تتفاعلُ بعضُها مع بعض. كما تدرسُ العلاقةَ التي تربطُ بين الحجمِ والكثافةِ والكتلةِ المولية.

قياسُ حجومِ الغازاتِ المتفاعلةِ ومقارنتُها

في بدايةِ القرنِ التاسعَ عشرَ درسَ الكيميائيُّ الفرنسيُّ جوزيف جايلوساك العلاقاتِ بين حجومِ الغازاتِ الداخلةِ في التفاعلِ الكيميائيِّ بين الهيدروجين والأكسجين. وقد لاحظَ أنه، عند درجةِ حرارةٍ ثابتة وتحت ضغطٍ ثابت، يمكن أن يتفاعلَ لتران (2 L) من الهيدروجين مع لترٍ واحدٍ (1 L) من الأكسجين لينتجَ لتران (2 L) من بخارِ الماء.

غاز الهيدروجين + غاز الأكسجين ← بخار الماء

غاز الهيدروجين	غاز الأكسجين	بخار الماء
2 L	1 L	2 L
حجمان	حجمٌ واحد	حجمان

بكلمةٍ أخرى، يوضحُ هذا التفاعلُ علاقةً محدَّدةً وبسيطةً بين حجمَي المتفاعلَيْن وحجمِ الناتجِ هي 2:1:2. يتفاعلُ حجمانِ من الهيدروجين مع حجمٍ واحدٍ من الأكسجين، لينتجَ حجمان من بخارِ الماء. وتطبَّقُ العلاقة 2:1:2 هذه أيًّا تكنْ الحجومُ ووحدةُ قياسِها. فمن ذلك مثلاً: 2 mL و 1 mL و 2 mL، 600 L و 300 L و 600 L، $400\ cm^3$ و $200\ cm^3$ و $400\ cm^3$.

وقد لاحظَ جايلوساك في تفاعلاتِ غازاتٍ أخرى، كتفاعلِ غازِ الهيدروجين مع غازِ الكلور، نسبًا محدَّدةً وبسيطةً بين الحجوم.

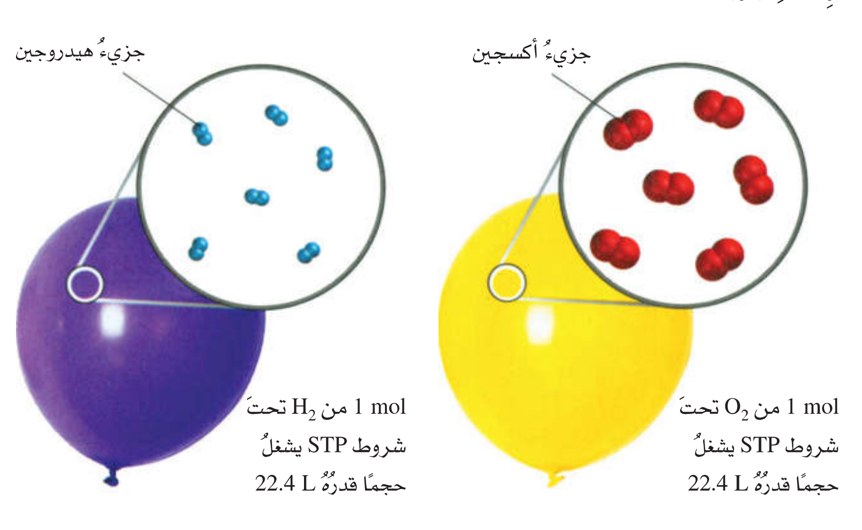
غاز الهيدروجين + غاز الكلور ← غاز كلوريد الهيدروجين

غاز الهيدروجين	غاز الكلور	غاز كلوريد الهيدروجين
1 L	1 L	2 L
حجمٌ واحد	حجمٌ واحد	حجمان

وفي عام 1808 لخَّصَ جايلوساك نتائجَ تجاربِه بعبارةٍ تُعرفُ اليومَ **بقانونِ جايلوساك لحجومِ الغازاتِ المتحدة law of combining volumes of gases**. *ينصُّ هذا القانونُ على التالي: يمكنُ أن يُعبَّرَ عن حجومِ المتفاعلاتِ والنواتجِ الغازيةِ بنسبٍ عدديةٍ بسيطة، وذلك عند ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط.*

قانون أفوجادرو

في عام 1811، قدَّمَ العالمُ أفوجادرو طريقةً لشرحِ النسبِ العدديةِ البسيطةِ لجايلوساك، عُرِفَتْ بقانونِ أفوجادرو **Avogadro's law**. ينصُّ هذا القانونُ على التالي: ***الحجومُ المتساويةُ من الغازاتِ المختلفةِ تحتوي على العددِ نفسِه من الجزيئاتِ، وذلك تحتَ الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة.*** والشكل 5-1 يعرضُ مثالاً يوضحُ قانونَ أفوجادرو. وهذا يعني أنه، تحت الشروط نفسها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة، يتغيَّرُ حجمُ أي غازٍ طرديًّا مع تغيُّرِ عددِ جزيئاته.



الشكل 5-1 تحت الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط، تحتوي البالوناتُ متساويةُ الحجمِ على أعدادٍ متساويةٍ من الجزيئات، أيًّا يكنْ نوعُ الغازِ الذي يملأُها.

تبعًا لقانونِ أفوجادرو، كما يوضحُ الشكل 5-2، يكونُ حجما غازَي الهيدروجين والكلور اللذين يتفاعلانِ ليعطيا كلوريد الهيدروجين حجمينِ متساويينِ ويحتويانِ على العددِ نفسِه من الجزيئات. وهذا يقودُنا إلى المعادلةِ الموزونةِ التاليةِ لتفاعلِ الهيدروجين مع الكلور:

$$H_2(g) \quad + \quad Cl_2(g) \quad \rightarrow \quad 2HCl(g)$$

$H_2(g)$	$Cl_2(g)$	$2HCl(g)$
حجمٌ واحد	حجمٌ واحد	حجمان
جزيءٌ واحد	جزيءٌ واحد	جزيئان

غازُ الهيدروجين + غازُ الكلور ← غازُ كلوريد الهيدروجين
حجمٌ واحد + حجمٌ واحد ← حجمان
جزيءٌ واحد + جزيءٌ واحد ← جزيئان

الشكل 5-2 تتَّحدُ جزيئاتُ الهيدروجين مع جزيئاتِ الكلور بنسبةٍ حجميةٍ 1:1 لتنتجَ حجمينِ من كلوريدِ الهيدروجين.

إن الاستدلالَ العقليَّ لأفوجادرو يسمحُ بتطبيقِ قانونِه أيضًا على اتحادِ الحجومِ في تفاعلِ الهيدروجين والأكسجين الذي ينتجُ عنه بخارُ الماء.

فقانونُ أفوجادرو يفيدُ أن حجمَ الغازِ يتناسبُ طرديًّا مع كميةِ الغاز، عند ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط. لاحظْ أن المعادلةَ لهذه العلاقة هي:

$$V = kn$$

حيثُ تمثِّلُ n كميةَ الغازِ بالمولات (mol)، وتمثِّلُ k ثابتًا. وكما يظهرُ في ما يلي، فإن المعاملاتِ في التفاعلِ الكيميائيِّ التي تتضمّنُ غازاتٍ مشاركةً تدلُّ على الأعدادِ النسبيةِ للجزيئات، والأعدادِ النسبيةِ للمولات، والحجومِ النسبية.

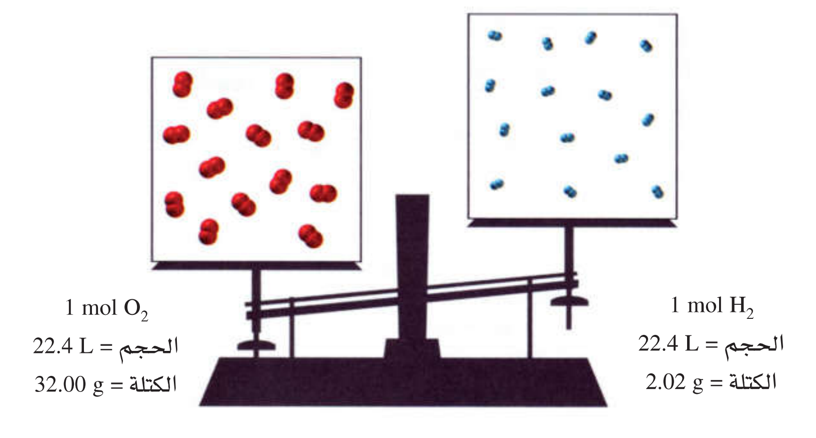
$2H_2O(g)$	$\rightarrow$	$O_2(g)$	+	$2H_2(g)$
جزيئان		جزيءٌ واحد		جزيئان
2 mol		1 mol		2 mol
حجمان		حجمٌ واحد		حجمان

الحجمُ الموليُّ للغازات

تذكَّرْ أن مولاً واحدًا من مادةٍ جزيئيةٍ يحتوي على جزيئاتٍ يساوي عددُها ثابتَ أفوجادرو (6.022×10^{23}). فمولٌ واحدٌ من الأكسجين O_2 يحتوي على 6.022×10^{23} جزيءِ أكسجينٍ ثنائيِّ الذرّات، وتبلغُ كتلتُهُ 31.9988 g. ويحتوي مولٌ واحدٌ من الهيدروجين على العددِ نفسِه من جزيئاتِ الهيدروجين ثنائيِّ الذرّات، لكنَّ كتلتَهُ تبلغُ 2.01588 g. كذلك يحتوي مولٌ واحدٌ من الهيليوم، وهو غازٌ أحاديُّ الذرّة، على العددِ نفسِه من ذرّاتِ الهيليوم وتبلغُ كتلتُهُ 4.002602 g.

وبحسبِ قانونِ أفوجادرو، يشغلُ مولٌ واحدٌ من أيِّ غازٍ الحجمَ نفسَهُ الذي يشغلُهُ مولٌ واحدٌ من غازٍ آخر، تحت الشروط نفسها من درجةِ حرارةٍ وضغط، بالرغم من اختلافِ كتلتَيهما. ***يُعرفُ الحجمُ الذي يشغلُهُ مولٌ واحدٌ من غازٍ تحت شروط STP باسم الحجمِ الموليِّ القياسيِّ للغاز standard molar volume of a gas، ويساوي 22.41410 L.*** وجميعُ الحساباتِ الواردةِ في هذا الكتاب، يُستعملُ فيها الحجمُ الموليُّ القياسيُّ، أي 22.4 L.

يبيِّنُ الشكل 5-3 أن 22.4 L من كلِّ غازٍ تحتوي على العددِ نفسِه من الجزيئات. إلا أن كتلةَ هذا الحجمِ تختلفُ من غازٍ إلى آخر. وتساوي كتلةُ كلِّ غازٍ الكتلةَ الموليةَ للغاز.



الشكل 5-3 كمّيتا مولٍ واحدٍ لغازَينِ مختلفَينِ يشغلُ كلٌّ منهما 22.4 L تحت شروط STP، ولكلٍّ منهما عددُ الجزيئاتِ نفسُه، إلا أن كتلتَيهما مختلفتان.

مسألةٌ نموذجية 1-5

يُنتجُ تفاعلٌ كيميائيٌّ 0.0680 mol من غازِ الأكسجين. ما الحجمُ باللتراتِ الذي تشغلُه عيِّنةٌ من هذا الغاز، تحتَ شروط STP؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: عددُ مولات O_2 = 0.0680 mol

المجهول: حجمُ O_2 باللترات تحتَ شروط STP

2 خطِّط

عددُ مولات O_2 ← حجم O_2 باللترات تحتَ شروط STP

يمكنُ استخدامُ الحجمِ الموليِّ القياسيّ، لإيجادِ حجم الكميةِ الموليةِ المعروفةِ للغاز تحتَ شروط STP.

$$\text{حجم } O_2 \text{ باللترات} = mol\ O_2 \times \frac{22.4\ L}{mol}$$

3 احسب

$$0.0680\ \cancel{mol}\ O_2 \times \frac{22.4\ L}{\cancel{mol}} = 1.52\ L\ O_2$$

4 قيِّم

اختصرَتِ الوحداتُ لتكونَ النتيجةُ باللترات. أما النتيجةُ المحسوبةُ فقد عبِّرَ عنها بشكلٍ مضبوطٍ بثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما حجمُ 7.08 mol من غازِ النيتروجين تحتَ شروط STP؟

2. تشغلُ عيِّنةٌ من غازِ الهيدروجين حجمَ 14.1 L تحتَ شروط STP. ما عددُ مولاتِ هذا الغاز؟

3. تشغلُ عيِّنةٌ من غازِ النيون حجمًا قدره $550.\ cm^3$ تحتَ شروط STP. ما عددُ مولاتِ غازِ النيون الذي تمثلُهُ هذه العيِّنة؟

الجواب

1. $159\ L\ N_2$

2. $0.629\ mol\ H_2$

3. $0.0246\ mol\ Ne$

مسألةٌ نموذجية 2-5

ينتجُ من تفاعلٍ كيميائيٍ 98.0 mL من غازِ ثاني أكسيد الكبريت، SO_2، تحتَ شروط STP. ما كتلةُ الغازِ الناتجِ بالجرامات؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: حجم SO_2 = 98.0 mL تحتَ شروط STP

المجهول: كتلة SO_2 بالجرامات

2 خطِّط

لترات SO_2 تحتَ شروط STP ← مولات SO_2 ← جرامات SO_2

يمكنُ استخدامُ الحجمِ الموليِّ القياسيِّ، لإيجادِ حجم الكميةِ الموليةِ المعروفةِ للغاز تحتَ شروط STP.

$$mL \times \frac{1\ L}{1000\ mL} \times \frac{1\ mol\ SO_2}{22.4\ L} \times \frac{g\ SO_2}{mol\ SO_2} = g\ SO_2$$

3 احسب

$$98.0\ \cancel{mL} \times \frac{1\ \cancel{L}}{1000\ \cancel{mL}} \times \frac{1\ \cancel{mol\ SO_2}}{22.4\ \cancel{L}} \times \frac{64.07\ g\ SO_2}{\cancel{mol\ SO_2}} = 0.280\ g\ SO_2$$

4 قيِّم

أعطيَتِ النتيجةُ بثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ مضبوطة. واختُصرَتِ الوحداتُ ليبقى الجوابُ فقطْ بالجرامات.

تمارينُ تطبيقية

1. ما كتلةُ 1.33×10^4 mL من غازِ الأكسجين تحتَ شروط STP؟
2. ما حجمُ 77.0 g من غازِ ثاني أكسيد النيتروجين تحتَ شروط STP؟
3. ينتجُ 3 L من الكلور بتفاعلٍ كيميائيٍّ تحتَ شروط STP. ما كتلةُ هذا الغاز؟

الجواب

1. $19.0\ g\ O_2$
2. $37.5\ L\ NO_2$
3. $9\ g\ Cl_2$

مراجعةُ القسم 1-5

1. اذكرْ نصَّ قانونِ جايلوساك لحجومِ الغازاتِ المتحدة.
2. اذكرْ نصَّ قانونِ أفوجادرو.
3. عرِّفِ الحجمَ المولي.
4. كم مولاً من غازِ الأكسجين في 135 L من الأكسجين، تحتَ شروط STP؟
5. ما الحجمُ (بـ mL) الذي يشغلُهُ 0.0035 mol من الميثان، CH_4، تحتَ شروط STP؟

قراءة علمية

الصعودُ إلى الفضاء

بقلم الأستاذ كارم غنيم، رئيس جمعية الإعجاز العلمي للقرآن في القاهرة.

يقول الله تعالى في القرآن الكريم:

﴿فَمَن يُرِدِ اللَّهُ أَن يَهْدِيَهُ يَشْرَحْ صَدْرَهُ لِلْإِسْلَامِ وَمَن يُرِدْ أَن يُضِلَّهُ يَجْعَلْ صَدْرَهُ ضَيِّقًا حَرَجًا كَأَنَّمَا يَصَّعَّدُ فِي السَّمَاءِ﴾

في هذه الآية القرآنية «125/سورة الأنعام» معجزةٌ علمية، وضحَتْ حقيقتُها مؤخرًا.. وهي انخفاضُ الضغطِ الجويِّ بالصعودِ في طبقاتِ الجوّ، مما يسببُ ضيقَ صدرِ الصاعدِ حتى يصلَ إلى درجةِ الاختناق، فتكونُ الآيةُ تشبيهَ حالةٍ معنويةٍ بهذه الحالةِ الحسّيةِ التي لم تُعرفْ إلا في عصرنا الحاضر.

توصَّلَ الإنسانُ إلى أنه كلما ارتفعَ عن مستوى سطحِ البحرِ كلما نقصَ وزنُ الهواءِ، وذلك نتيجةً لنقصِ سمْكِ الغلافِ الغازيِّ من جهة، وتخلخلِ الهواءِ جرّاءَ انخفاضِ كثافتِهِ من جهةٍ أخرى.. ويتأثّرُ هذا، أيضًا، تبعًا لاختلافِ درجةِ الحرارة.. ولم يتوصَّلِ الإنسانُ إلى معرفةِ هذه الظاهرةِ إلا في القرنِ التاسعَ عشر (1804 م) حينما صعدَ بالبالونِ لأولِ مرةٍ إلى طبقاتِ الجوّ، ظانًّا بأن الهواءَ ممتدٌّ إلى ما لا نهاية...

لقد أصبحَ التفسيرُ العلميُّ لظاهرةِ الضيقِ والاختلافِ عندَ الصعودِ في طبقاتِ الجوِّ العليا معروفًا الآنَ بعدَ سلسلةٍ طويلةٍ من التجاربِ التي أجراها العلماءُ لمعرفةِ مكوّناتِ الهواءِ وخصائصِه، خصوصًا بعد أن تطوَّرَتْ أجهزةُ الرصدِ والتحليلِ المستخدمةُ للارتفاعاتِ المنخفضةِ أو المحمولةُ بصواريخَ وأقمارٍ صناعيةٍ لدراسةِ طبقاتِ الجوِّ العليا. وتدلُّ القياساتُ على أن الغلافَ الجويَّ (الغازي) للأرضِ متماثلُ التركيب (التكوين)، بسببِ حركةِ الهواءِ التي تؤدي إلى حدوثِ عملياتِ الخلطِ الرأسيِّ والأفقي (خصوصًا على الارتفاعاتِ المنخفضة)، فتظلُّ نسبُ مكوِّناتِ الهواءِ ثابتةً تقريبًا حتى ارتفاعِ 80 كيلومترًا.

ولقد ثبتَ أن الضغطَ الجويَّ يقلُّ مع الارتفاعِ عن سطحِ الأرض، بحيثُ ينخفضُ إلى نصفِ قيمتِه تقريبًا كلّما ارتفعْنا مسافة 5 km عن مستوى سطحِ البحر، بشكلٍ مطّرد. وطبقًا لهذا، فإن الضغطَ الجويَّ ينخفضُ، فيصلُ إلى ربعِ قيمتِه، على ارتفاع 10 km، وإلى 1% من قيمتِه الأصليةِ على ارتفاع 30 km.

كما تتناقصُ كثافةُ الهواءِ بدورها تناقصًا كبيرًا مع الارتفاع، حتى تقاربَ العدمَ عندَ ارتفاعِ 1000 km تقريبًا من سطحِ الأرض.

ومن ناحيةٍ أخرى، فإن الأكسجين يقلُّ في الجوِّ كلّما ارتفعْنا إلى الأعلى، نظرًا لنقصانِ مقاديرِ الهواء، فإذا كان الأكسجين عندَ السطحِ 200 وحدةٍ مثلاً، فإنه على ارتفاع 10 km ينخفضُ فيصلُ إلى 40 وحدةً فقط، وعلى ارتفاع 20 km يزدادُ نقصانُهُ لتصبحَ قيمتُه 10 وحداتٍ فقط، ثم تصلُ قيمتُهُ إلى وحدتَين فقط على ارتفاع 30 km.

وهكذا يمكنُ أن يضيقَ صدرُ الإنسانِ ويختنقَ بصعودِهِ إلى ارتفاعاتٍ أعلى من 10 km، إن لم يكنْ مصونًا داخلَ غرفةٍ مكيَّفة، وذلك نتيجةً لنقصِ الضغطِ الجوّي، ونقصِ غازِ الأكسجين اللازمِ للتنفُّس.. وبدونِ هذه الغرفةِ المكيَّفةِ يصابُ الإنسانُ بالكسلِ والتبلُّد، ويدخلُ في حالةٍ من السباتِ وفقدانِ الذاكرة، ويتعرَّضُ لأضرارِ الأشعةِ الساقطةِ عليه من خلالِ الغلافِ الجوّي... ويصابُ بحالةِ «ديسبارزم» فينتفخُ بطنُه



وتجاويفُ جسمِه، ويُنزَفُ من جلدِه، ويتوقَّفُ تنفُّسُه، ويتدمَّرُ دماغُه، ويدخلُ في غيبوبةِ الموت.

وأثبتَ علمُ طبِّ الفضاءِ إصابةَ الصاعدِ في طبقاتِ الجوِّ العليا دونَ الاحتماءِ في غرفةٍ مكيَّفة، بالإعياءِ الحادّ، وارتشاحِ الرئة، وأوديما الدماغ، ونزفِ شبكيةِ العين، ودوارِ الحركة، واضطرابِ التوجُّهِ الحركيِّ في الفضاء، واحمرارِ البصرِ ثم اسودادِ البصر فهو أعلى حالاتِ الهلوسةِ البصرية، إذ الأعينُ موجودةٌ وسليمةٌ وظيفيًا، لكنَّ الضوءَ غيرُ موجود، حيث لا يوجدُ في طبقاتِ الجوِّ العليا سوى الظلامِ الحالك، فيظنُّ الصاعدُ في تلك الطبقاتِ أنه قد أصابَه سحرٌ أفقدَه القدرةَ على الإبصار.

كما أنها آيةٌ معجزة، إذ أوضحَتْ ظاهرةً جويةً وحقيقةً فضائيةً لم يتوصَّلِ العلماءُ إلى معرفتِها إلا في القرنِ التاسعَ عشرَ والقرنِ العشرين الميلاديين، وهي الضيقُ والاختناقُ كلّما ارتفعَ الإنسانُ في طبقاتِ الجوّ، أي: في السماء، والسماءُ هي كلُّ ما علاك، وهي المعنى المعروفُ لمعظمِ الناس، وهو من المعاني الصحيحةِ لهذه الكلمةِ القرآنية.. وسبحانَ من هذا كلامُه.

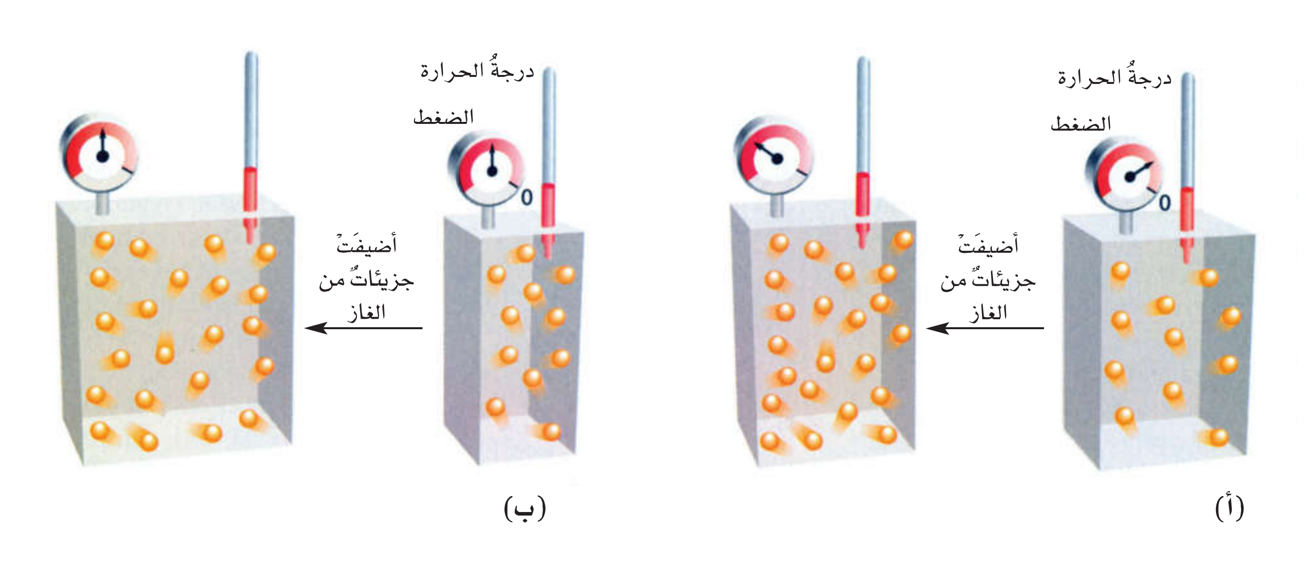
قانونُ الغازِ المثالي

مؤشراتُ الأداء

- يذكرُ نصَّ قانونِ الغازِ المثالي.
- يشتقُّ ثابتَ الغازِ المثاليِّ مميِّزًا وحداتِه.
- يحسبُ الضغطَ أو الحجمَ أو درجةَ الحرارةِ أو كميةَ الغاز، عندمَا تكونُ ثلاثُ كمياتٍ منها معروفة، باستخدامِ قانونِ الغازِ المثالي.
- يحسبُ الكتلةَ المولية، أو كثافةَ غاز، باستخدامِ قانونِ الغازِ المثالي.
- يحوِّلُ قانونَ الغازِ المثاليِّ إلى قانونِ بويِّل أو قانونِ شارل أو قانونِ أفوجادرو. ويصفُ الشروطَ التي يُطبَّقُ بها كلُّ قانون.

عرفتَ في القسم 4-3 أنك تحتاجُ، لوصفِ عيِّنةِ غاز، إلى ثلاثِ كمياتٍ، هي الضغطُ والحجمُ ودرجةُ الحرارة. ويمكنُ أن تتميَّزَ عيِّنةُ الغازِ أكثرَ باستعمالِ كميةٍ رابعةٍ هي عددُ المولات. إن عددَ الجزيئاتِ أو عددَ المولاتِ الموجودةِ يؤثِّرُ باستمرارٍ في كميةٍ واحدة، على الأقلّ، من الكمياتِ الثلاثِ الأخرى. فنسبةُ تصادمِ الجزيئاتِ على وحدةِ المساحة، تعتمدُ على عددِ الجزيئاتِ الموجودة. فإذا ازدادَ عددُ الجزيئاتِ عندَ حجمٍ ودرجةِ حرارةٍ ثابتَين تزدادُ نسبةُ التصادم. وهذا يؤدّي إلى زيادةِ الضغط، كما يظهرُ في الشكل 5-4 (أ). لكن ماذا يحدثُ إذا ازدادَ عددُ الجزيئات عند ثباتِ الضغطِ ودرجةِ الحرارة؟ بحسبِ قانونِ أفوجادرو، فإن الحجمَ يزيد. يوضحُ الشكل 5-4 (ب) أن زيادةَ الحجمِ تُبقي الضغطَ ثابتًا عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة. كما أن زيادةَ الحجمِ تُبقي نسبةَ التصادمِ على وحدةِ مساحةِ الجدارِ ثابتة.

نستنتجُ مما سبقَ ***أن ضغطَ الغازِ وحجمَه ودرجةَ حرارته وعددَ مولاتِه، مرتبطةٌ كلُّها بعلاقةٍ رياضيةٍ تُعرفُ بقانونِ الغازِ المثالي* ideal gas law**.



الشكل 5-4 (أ) إذا بقيَ الحجمُ ودرجةُ الحرارةِ ثابتين، يزيدُ الضغطُ بزيادةِ عددِ الجزيئات. (ب) إذا بقيَ الضغطُ ودرجةُ الحرارةِ ثابتَين، فإن حجمَ الغازِ يزيدُ إذا زادَ عددُ الجزيئات.

اشتقاقُ قانونِ الغازِ المثالي

يمكنُ اشتقاقُ المعادلةِ العامَّةِ التي تستخدمُ لحسابِ معلوماتٍ مجهولةٍ تتعلقُ بعيّناتِ غاز، بدمجِ قانونِ بويّل وقانونِ شارل وقانونِ أفوجادرو:

قانونُ بويّل: يتناسبُ حجمُ كتلةٍ من الغازِ عكسيًّا مع الضغط، وذلك عند ثباتِ درجةِ الحرارة.

$$V \propto \frac{1}{P}$$

قانون شارل: يتناسبُ حجمُ كتلةٍ من الغازِ طرديًّا مع درجةِ الحرارةِ بالكلفن، وذلك عند ثباتِ الضغط.

$$V \propto T$$

قانون أفوجادرو: يتناسبُ حجمُ الغازِ طرديًّا مع عددِ المولات، وذلك عند ثباتِ الضغطِ ودرجةِ الحرارة.

$$V \propto n$$

إن أيَّ كميةٍ، كالحجمِ في هذه الحالة، تتناسبُ مع عدَّةِ كميات كما تتناسبُ مع حاصلِ ضربِها. نستنتجُ أن دمجَ العلاقاتِ الثلاثِ السابقةِ يؤدي إلى التالي:

$$V \propto \frac{1}{P} \times T \times n$$

يمكنُك أن تغيِّرَ رياضيًّا أيَّ تناسبٍ إلى معادلةٍ بإدخالِ ثابت. ويُستعملُ في هذه الحالةِ الرمزُ R لهذا الثابت.

$$V = R \times \frac{1}{P} \times T \times n$$

يمثِّلُ R قيمةَ الكميةِ القريبةِ من PV/nT لأيِّ غازٍ يقربُ سلوكُهُ من سلوكِ الغازِ المثالي. تُشتقُّ معادلةُ الغازِ المثاليّ كما يلي:

$$V = \frac{nRT}{P} \quad \text{أو} \quad PV = nRT$$

تنصُّ هذه المعادلةُ على أن حجمَ أي غازٍ يتغيَّرُ طرديًّا مع عددِ مولاتِ (أو جزيئات) هذا الغازِ ودرجةِ حرارتِه بالكلفن. كما يتغيَّرُ الحجمُ عكسيًّا مع الضغط. وبما أن معظمَ الغازاتِ تُظهرُ سلوكًا قريبًا من سلوكِ الغازِ المثاليّ، تحتَ الشروطِ العادية، فإن المعادلةَ يمكنُ أن تطبَّقَ بدقةٍ معقولة.

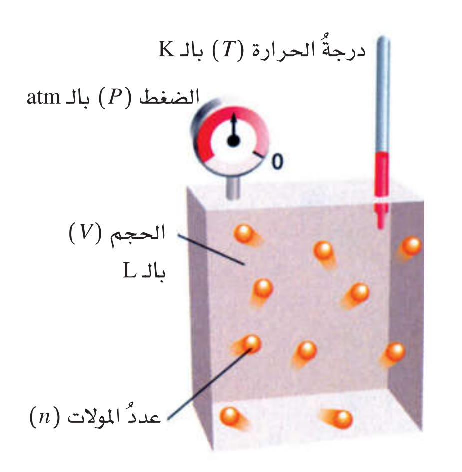
ويمكنُ تحويلُ قانونِ الغازِ المثاليِّ إلى قانونِ بويّل، أو قانونِ شارل، أو قانونِ جايلوساك، أو قانونِ أفوجادرو، عندَما تكونُ المتغيِّراتُ المناسبةُ ثابتة. فإذا كان n و T، مثلاً، ثابتين يصبحُ nRT ثابتًا، لأن R ثابتٌ أصلاً. ويتحوَّلُ قانونُ الغازِ المثاليِّ في هذه الحالةِ إلى ($PV =$ ثابت)، وهذا هو قانونُ بويّل.

ثابتُ الغازِ المثالي

في المعادلةِ التي تمثِّلُ قانونَ الغازِ المثالي، **يُعرفُ الثابتُ R باسمِ ثابتِ الغازِ المثالي ideal gas constant**. وتعتمدُ قيمتُه على الوحداتِ المستعملةِ للضغطِ والحجمِ ودرجةِ الحرارة. يبيِّنُ الشكل 5-5 القيَمَ المقيسة لـ P، V، T، n، لغازٍ قريبٍ من الشروطِ المثالية، وهذه القيمُ يمكنُ استخدامُها لحسابِ قيمةِ R. تذكرُ مما درستَه في القسم 5-1 أن حجمَ مولٍ واحدٍ من غازٍ مثاليٍّ تحتَ شروطِ STP (273.15 K و 1 atm) يبلغُ 22.41410 L. فإذا عوَّضْنا عن هذه الرموزِ بهذه القيَم، في معادلةِ قانونِ الغازِ المثالي، نحصلُ على قيمةِ R كما يلي:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1\ \text{atm})(22.414\ 10\ \text{L})}{(1\ \text{mol})(273.15\ \text{K})} = 0.082\ 057\ 84\ \frac{\text{L•atm}}{\text{mol•K}}$$

تُقرَّبُ قيمةُ R هذه إلى 0.0821 L•atm/(mol•K). وتُستعملُ هذه القيمةُ في حساباتِ قانونِ الغازِ المثالي، عندَما يكونُ الحجمُ بـ L، والضغطُ بـ atm، ودرجةُ الحرارةِ بـ K. انظرْ إلى الجدول 5-1 الذي يُبيِّنُ قيمةَ R لدى استخدامِ وحداتٍ أخرى لـ n، P، V، T.



ثابتُ الغاز (R) = $\frac{\text{L•atm}}{\text{mol•K}}$ 0.0821

الشكل 5-5 يربطُ قانونُ الغازِ المثاليِّ بينَ الضغطِ والحجمِ وعددِ المولاتِ ودرجةِ الحرارةِ لغازٍ مثالي.

إيجادُ P أو V أو T أو n باستعمالِ قانونِ الغازِ المثالي

يمكنُ تطبيقُ قانونِ الغازِ المثالي لتحديدِ الشروطِ لعيِّنةِ غازٍ عندَما تُعرفُ ثلاثةٌ من المتغيِّراتِ الأربعة: P، V، T، n. ويمكنُ استعمالُ هذه العلاقةِ كذلك لحسابِ الكتلةِ المولية، أو كثافةِ عيّنةِ غاز.

تأكَّدْ من ملاءمةِ وحداتِ الكمّياتِ المعروفةِ لوحداتِ R. وفي هذا الكتابِ ستستخدمُ R = 0.0821 L•atm/(mol•K). إن المرحلةَ الأولى من حلِّ أيِّ مسألةٍ من مسائلِ قانونِ الغازِ المثالي تكونُ في تسجيلِ القيَمِ المعروفة، وذلكَ لتتأكد من أنكَ تتعاملُ مع الوحداتِ الصحيحة. وقد يكونُ ضروريًّا أن تحوِّلَ الحجمَ إلى L، والضغطَ إلى atm، ودرجةَ الحرارةِ إلى K، والكتلةَ إلى عددِ مولاتٍ، قبلَ استخدامِ قانونِ الغازِ المثالي.

الجدول 5-1 القيَمُ العدديةُ لثابتِ الغاز R

وحدة R	القيمةُ العددية لـ R	وحدة P	وحدة V	وحدة T	وحدة n
$\frac{\text{L•mm Hg}}{\text{mol•K}}$	62.4	mm Hg	L	K	mol
$\frac{\text{L•atm}}{\text{mol•K}}$	0.0821	atm	L	K	mol
$\frac{\text{J}}{\text{mol•K}}$	8.314*	Pa	m^3	K	mol
$\frac{\text{L•kPa}}{\text{mol•K}}$	8.314	kPa	L	K	mol

ملاحظة: 1 L•atm = 101.325 J، $1\text{J} = 1\ \text{Pa•m}^3$

* وحدات SI

مسألةٌ نموذجية 3-5

ما الضغطُ المقيسُ بـ atm الذي تمارسُه عيّنةٌ مقدارُها 0.500 mol من غازِ النيتروجين، في وعاءٍ حجمُهُ 10.0 L، عندَ درجةِ حرارة 298 K؟

الحلّ

1 **حلّل**

المعطى: الحجم (V) N_2 = 10.0 L

عددُ المولات (n) N_2 = 0.500 mol

درجةُ الحرارة (T) N_2 = 298 K

المجهول: ضغطُ النيتروجين P بـ atm

2 **خطّط**

$n, V, T \rightarrow P$

لا تخضعُ عيّنةُ الغازِ لأيِّ تغيُّرٍ في الشروط. لذلك يمكنُ إعادةُ ترتيبِ قانونِ الغازِ المثاليِّ واستعمالُه لإيجادِ الضغط، كما يلي:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

3 **احسب**

$$P = \frac{(0.500\ \cancel{mol})\left(\frac{0.0821\ \cancel{L} \cdot atm}{\cancel{mol} \cdot \cancel{K}}\right)(298\ \cancel{K})}{10.0\ \cancel{L}} = 1.22\ atm$$

4 **قيّم**

تُختصرُ كلُّ الوحداتِ بشكلٍ صحيحٍ لتكونَ النتيجةُ بـ atm. ويقرَّبُ الجوابُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما الضغطُ بـ atm المبذولُ من 0.325 mol من غازِ الهيدروجين في وعاءٍ حجمُهُ 4.08 L، عندَ درجةِ حرارة 35°C؟
2. عيّنةٌ من غازٍ مقدارُها 1.45 mol، وُضِعَتْ في وعاءٍ حجمُه 8.77 L عندَ درجةِ حرارة 20°C. ما الضغطُ الذي تمارسُه هذه العيّنةُ معبَّرًا عنها بـ atm؟

الجواب

1. 2.01 atm
2. 3.98 atm

مسألةٌ نموذجية 4-5

ما الحجمُ بـ L الذي يشغلُه 0.250 mol من غازِ الأكسجين عند درجةِ حرارة 20.0°C، وضغط 0.974 atm؟

الحلّ

1 **حلّل**

المعطى: الضغط (P) O_2 = 0.974 atm

عددُ المولات (n) O_2 = 0.250 mol

لاستخدام $R = 0.0821\ L \cdot atm/(mol \cdot K)$، يجبُ تحويلُ درجةِ الحرارةِ المعطاة بـ °C إلى كلفن K

درجةُ الحرارة (T) O_2 = 293.2 K = 20.0°C + 273.2

المجهول: حجمُ الأكسجين V بـ L

2 خطِّط

$P, n, T \rightarrow V$

يمكنُ إعادةُ كتابةِ قانونِ الغازِ المثالي، لحلِّ المسألةِ، باعتبارِ أن شروطَ العيِّنةِ لم تتغيَّرْ:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

3 احسب

$$V = \frac{(0.250\ \text{mol}\ O_2)\left(\frac{0.0821\ \text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(293.2\ \text{K})}{0.974\ \text{atm}} = 6.17\ \text{L}\ O_2$$

4 قيِّم

اختُصرَتِ الوحداتُ لتبقى وحدةُ اللتر، كما هو مطلوب. يقرَّبُ الجوابُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. تحتوي عيِّنةٌ من غازٍ على 4.38 mol عند درجةِ حرارة 250. K، وتحت ضغط 0.857 atm. ما حجمُها؟

2. ما الحجمُ الذي يشغلُهُ 0.909 mol من النيتروجين عند درجةِ حرارة 125°C، وتحت ضغط 0.901 atm؟

الجواب

1. 105 L

2. 33.0 L N_2

مسألةٌ نموذجية 5-5

ما كتلةُ غازِ كلور Cl_2 بالجراماتِ موجودٍ في خزّانٍ حجمُه 10.0 L، عند درجةِ حرارة 27°C، وتحت ضغط 3.50 atm؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: ضغط Cl_2 (P) = 3.50 atm

حجم Cl_2 (V) = 10.0 L

درجةُ الحرارة Cl_2 (T) = 300. K = 27°C + 273.

المجهول: كتلة Cl_2 بالجرامات

2 خطِّط

يمكنُ كتابةُ قانونِ الغازِ المثاليِّ كما يلي:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

ثم يُحوَّلُ عددُ المولاتِ إلى جرامات

$$m\ (\text{g}) = n\ (\text{mol}) \times \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

3 احسب

$$n = \frac{(3.50\ \text{atm})(10.0\ \text{L}\ Cl_2)}{\left(\frac{0.0821\ \text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(300.\ \text{K})} = 1.42\ \text{mol}\ Cl_2$$

كتلة Cl_2: $m = 1.42\ \text{mol} \times \frac{70.90\ \text{g}\ Cl_2}{\text{mol}} = 101\ \text{g}\ Cl_2$

4 قيِّم

بعدَ اختصارِ الوحداتِ لا يبقى إلا الوحدةُ المطلوبة، وقد قُرِّبَتِ النتيجةُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما عددُ جراماتِ غاز ثاني أكسيد كربون موجودٍ في وعاءٍ حجمُه 45.1 L، عندَ درجةِ حرارة 34°C، وضغط 1.04 atm؟

2. ما الكتلةُ بالجراماتِ لغازِ الأكسجين الموجودِ داخلَ وعاءٍ حجمُه 12.5 L، عندَ درجةِ حرارة 45°C، وضغط 7.22 atm؟

3. وضعَت عيّنةٌ من ثاني أكسيدِ الكربون كتلتُها 0.30 g، داخلَ وعاءٍ حجمُه 250 mL، عندَ درجةِ حرارة 400. K. ما الضغطُ الذي يمارسُهُ هذا الغاز؟

الجواب

.1 $81.9\ g\ CO_2$

.2 $111\ g\ O_2$

.3 0.90 atm

إيجادُ الكتلةِ الموليةِ أو الكثافةِ، انطلاقًا من قانونِ الغازِ المثالي

إذا عرفْتَ ضغطَ عيّنةِ غازٍ وحجمَها ودرجةَ حرارتِها وكتلتَها، تستطيعُ أن تحسبَ عددَ مولاتِها n في هذه العيّنةِ باستعمالِ قانونِ الغازِ المثاليّ. ويمكنُ حينئذٍ أن تحسبَ الكتلةَ المولية (عددَ الجراماتِ في المولِ الواحد) بأن تقسمَ الكتلةَ المعروفةَ على عددِ المولات.

وانطلاقًا من قانونِ الغازِ المثالي، يمكنُ اشتقاقُ معادلةٍ تبيّنُ العلاقةَ بين الكثافةِ والضغطِ ودرجةِ الحرارةِ والكتلةِ المولية. عددُ المولات (n) يساوي الكتلة (m) مقسومةً على الكتلةِ المولية (M). $n = m/M$، فإذا عوَّضْنا عن n بقيمتِها في المعادلةِ $PV = nRT$ نحصلُ على:

$$PV = \frac{mRT}{M} \quad \text{أو} \quad M = \frac{mRT}{PV}$$

أمّا الكثافةُ (D)، فتساوي الكتلة (m) مقسومةً على الحجم (V). $D = m/V$، فإذا عوَّضْنا عن D بقيمتِها (m/V) في العلاقةِ السابقةِ نحصلُ على:

$$M = \frac{mRT}{PV} = \frac{DRT}{P}$$

ينتجُ عن ذلك المعادلةُ التالية:

$$D = \frac{MP}{RT}$$

وهكذا يتّضحُ أن كثافةَ غازٍ ما تتغيَّرُ طرديًّا مع الكتلةِ الموليةِ والضغطِ، وتتغيَّرُ عكسيًّا مع درجةِ الحرارةِ بالكلفن.

مسألةٌ نموذجية 6-5

ما الكتلةُ الموليةُ لعيِّنةِ غازٍ كتلتُها 5.16 g، وحجمُها 1.00 L، تحتَ ضغط 0.974 atm وعند درجةِ حرارة 28°C؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: ضغطُ الغاز (P) = 0.974 atm

حجمُ الغاز (V) = 1.00 L

درجةُ حرارةِ الغاز (T) = 28°C + 273 = 301 K

كتلةُ الغاز (m) = 5.16 g

المجهول: الكتلةُ المولية M بـ g/mol

2 خطِّط

$P, V, T, m \longrightarrow M$

تستطيعُ أن تستخدمَ العلاقةَ المشتقَّةَ من قانونِ الغازِ المثالي:

$$M = \frac{mRT}{PV}$$

3 احسب

$$M = \frac{(5.16\ g)\left(\frac{0.0821\ L \cdot atm}{mol \cdot K}\right)(301\ K)}{(0.974\ atm)(1.00\ L)} = 131\ g/mol$$

4 قيِّم

اختُصرَتِ الوحداتُ كما هو مطلوب. وأعطيَ الجوابُ بشكلٍ صحيح، وقد قرِّبَ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

	الجواب
.1 ما الكتلةُ الموليةُ لغازٍ كتلتُهُ 0.427 g، وحجمُهُ 125 mL، عندَ درجة حرارة 20.0°C وتحت ضغط 0.980 atm؟	**.1** 83.8 g/mol
.2 ما كثافةُ عيِّنةٍ من غازِ الأمونيا NH_3، إذا كانَ الضغطُ 0.928 atm، ودرجةُ الحرارة 63.0°C؟	**.2** 0.572 g/L NH_3
.3 غازٌ كثافتُه 2.0 g/L تحت ضغطِ 1.50 atm وعند درجةِ حرارة 27°C. ما الكتلةُ الموليةُ لهذا الغاز؟	**.3** 33 g/mol
.4 ما كثافةُ غازِ الأرجون Ar، تحت ضغط 551 torr وعند درجةِ حرارة 25°C؟	**.4** 1.18 g/L Ar

مراجعةُ القسم 2-5

.1 وضِّحْ، مستخدمًا العلاقاتِ الرياضية، كيفَ تحوَّلَ قانونُ الغازِ المثاليِّ إلى ما يلي:

أ. قانونِ بويل

ب. قانونِ شارل

ج. قانونِ جايلوساك

د. قانونِ أفوجادرو

.2 ما الحجمُ باللترات لـ 0.100 g من بخار $C_2H_2F_4$ تحت ضغط 0.0928 atm وعند درجةِ حرارة 22.3°C؟

.3 ما الكتلةُ الموليةُ لعيِّنةِ غازٍ كتلتُها 1.25 g، وحجمُها 1.00 L تحتَ ضغط 0.961 atm وعند درجةِ حرارة 27.0°C؟

.4 سمِّ كمّيتَين، غيرَ الضغطِ والكتلةِ والحجم وعددِ المولات، يمكنُ حسابُهما باستعمالِ قانونِ الغازِ المثالي.

القسم 3-5

مؤشراتُ الأداء

- يطبِّقُ قانونَ جايلوساك لحجوم الغازات المتحدة وقانونَ أفوجادرو في حسابِ حجوم الغازات في التفاعلات الكيميائية.
- يوظِّفُ المعادلةَ الكيميائيةَ لتحديدِ النسبِ الحجمية للمتفاعلاتِ الغازيةِ أو النواتجِ، أو لكلتيهما.
- يوظِّفُ النسبَ الحجميةَ وقوانينَ الغازاتِ في حسابِ حجوم المتفاعلاتِ والنواتجِ الغازية وكتلِها وكمياتِها المولية.

الحساباتُ الكيميائيةُ للغازات

يمكنُ تطبيقُ قانونَيْ جايلوساك للحجوم المتحدةِ وأفوجادرو للغازات في الحسابِ الكيميائي. في التفاعلاتِ الغازيةِ الكيميائية تحدِّدُ معاملاتُ المتفاعلاتِ أو النواتجِ كمّياتِ المولاتِ ونسبَها والنسبَ الحجمية لتلكَ المواد. لاحظْ، مثلاً، تفاعلَ أولِ أكسيد الكربون مع الأكسجين، لتكوينِ ثاني أكسيد الكربون.

$2CO(g)$	$+$	$O_2(g)$	$\longrightarrow$	$2CO_2(g)$
جزيئان		جزيءٌ واحد		جزيئان
2 mol		1 mol		2 mol
حجمان		حجمٌ واحد		حجمان

يمكنُ التعبيرُ عن النسبِ الحجميةِ المتوقَّعةِ بالطرقِ التالية:

أ. $\frac{\text{حجمان من CO}}{\text{حجم واحد من } O_2}$

ب. $\frac{\text{حجمان من CO}}{\text{حجمَين من } CO_2}$

ج. $\frac{\text{حجمٌ واحد من } O_2}{\text{حجمين من } CO_2}$

بهذه الطريقةِ فقط يمكنُ مقارنةُ الحجوم، إذا قيسَت جميعًا تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.

حساباتُ الحجم-الحجم

افترضْ أن حجمَ أحدِ الغازاتِ في تفاعلٍ ما كان معروفًا، وطُلبَ إليكَ معرفةُ حجمِ غازٍ متفاعلٍ آخرَ أو ناتجٍ آخرَ في التفاعل، مع افتراضِ وجودِ المتفاعلِ والناتجِ تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط. استخدمِ النسبَ الحجميةَ المشابهةَ لما عُرضَ أعلاه، وبالطريقةِ نفسِها التي تُستخدَمُ فيها النسبُ المولية.

مسألةٌ نموذجية 7-5

يُستخدَمُ غازُ البروبان C_3H_8 أحيانًا كوقودٍ للطهي والتدفئة. ويتمُّ احتراقُ البروبان احتراقًا تامًّا وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

(أ) ما حجمُ الأكسجين (بـ L) اللازمُ لاحتراقِ 0.350 L من البروبان بصورةٍ تامّة؟ (ب) ما حجمُ ثاني أكسيدِ الكربونِ الناتجِ من التفاعل؟ افترضْ أن الحجومَ جميعًا قيسَتْ تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.

الحلّ

1 حلّل

المعطى: معادلةٌ كيميائيةٌ موزونة

حجمُ البروبان $V = 0.350\ L$

المجهول: أ. حجم V لـ O_2 باللتر ب. حجم V لـ CO_2 باللتر

2 خطّط

أ. $(V)\ C_3H_8 \rightarrow (V)\ O_2$ ب. $(V)\ C_3H_8 \rightarrow (V)\ CO_2$

تقارَنُ الحجومُ جميعُها، تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط. بذلك يمكنُ استخدامُ النسبِ الحجميةِ كنسبٍ موليةٍ في حسابِ القيَمِ المطلوبة.

3 احسب

أ. $$0.350\ \cancel{L\ C_3H_8} \times \frac{5\ L\ O_2}{1\ \cancel{L\ C_3H_8}} = 1.75\ L\ O_2$$

ب. $$0.350\ \cancel{L\ C_3H_8} \times \frac{3\ L\ CO_2}{1\ \cancel{L\ C_3H_8}} = 1.05\ L\ CO_2$$

4 قيّم

النتائجُ صحيحة. وقد قُرِّبتْ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما حجمُ غازِ الهيدروجين اللازم للتفاعلِ التامِّ مع 4.55 L من غازِ الأكسجين لتكوينِ بخارِ الماء؟ مفترضًا أن جميعَ قياساتِ الحجومِ قد أجريَتْ تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.

2. ما حجمُ غازِ الأكسجين اللازم للتفاعلِ التامِّ مع 0.626 L من غازِ أوّلِ أكسيد الكربون، لتكوينِ غازِ ثاني أكسيد الكربون؟ مفترضًا أن قياسَ الحجومِ قد جرى تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.

الجواب

1. $9.10\ L\ H_2$
2. $0.313\ L\ O_2$

حساباتُ الحجمِ–الكتلة والكتلةِ–الحجم

قد تشملُ الحساباتُ الكيميائيةُ للغازاتِ حسابَ كلٍّ من حجومِ الغازاتِ وكتلِها. وقد يُعطى أحيانًا حجمُ متفاعلٍ أو ناتجٍ، وتكون كتلةُ الغازِ الثاني مجهولة. وفي حالاتٍ أخرى، تكونُ الكتلةُ معروفةً والحجمُ مجهولاً. لذلك تحتاجُ الحساباتُ إلى الطرقِ التالية:

حجمُ الغاز أ ← مولات أ ← مولات ب ← كتلة ب

أو

كتلةُ الغاز أ ← مولات أ ← مولات ب ← حجمَ الغاز ب

لإيجادِ المجهولِ في مثلِ هذه الحالات، عليكَ أن تعرفَ الظروفَ التي تمَّ بموجبِها قياسُ حجومِ الغازاتِ المعلومةِ والمجهولة. يصبحُ قانونُ الغازِ المثاليِّ هنا مناسبًا لحسابِ القيَمِ المقيسةِ تحتَ شروطٍ قياسيةٍ أو شروطٍ غيرِ قياسية.

مسألةٌ نموذجية 8-5

يمكنُ تسخينُ كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ المسمّاة أيضًا بالحجرِ الجيري، لإنتاجِ أكسيدِ الكالسيوم، وهو ناتجٌ صناعيٌّ متعدِّدُ الاستخدامات. والمعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ لهذا التفاعل تُكتبُ كالتالي:

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$$

كم جرامًا من كربونات الكالسيوم يجبُ تفكُّكُها لإنتاج 5.0 L من ثاني أكسيد الكربون تحتَ شروط STP؟

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: معادلةٌ كيميائيةٌ موزونة

إنتاجُ حجم 5.0 L من CO_2 تحتَ شروط STP.

المجهول: كتلة $CaCO_3$ بالجرامات

2 خطِّط

الحجمُ المعطى قيسَ تحت شروط STP، وهذا يعني الضغطَ ودرجةَ الحرارة. يمكنُ استخدامُ قانونِ الغازِ المثالي لإيجادِ عددِ مولات CO_2. بعد ذلك، يمكنُ استخدامُ النسبِ الموليةِ المستخرجةِ من المعادلةِ الموزونةِ لحسابِ عددِ مولات $CaCO_3$ اللازمة (ملاحظة: لا يمكنُ تطبيقُ النسبِ الحجميةِ هنا، لأن كربونات الكالسيوم مادةٌ صلبة).

3 احسب

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1\ \text{atm})(5.00\ \text{L}\ CO_2)}{\left(\frac{0.0821\ \text{L} \bullet \text{atm}}{\text{mol} \bullet \text{K}}\right)(273\ \text{K})} = 0.223\ \text{mol}\ CO_2$$

$$0.223\ \text{mol}\ CO_2 \times \frac{1\ \text{mol}\ CaCO_3}{1\ \text{mol}\ CO_2} \times \frac{100.09\ \text{g}\ CaCO_3}{1\ \text{mol}\ CaCO_3} = 22.3\ \text{g}\ CaCO_3$$

4 قيِّم

اختُصرتِ الوحداتُ بشكل صحيح، وأعطيَ الجوابُ الصحيحُ مقرَّبًا إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما كتلةُ الكبريت اللازمةُ لإنتاج 12.61 L من غازِ ثاني أكسيد الكبريت تحت شروط STP، ووفقًا للمعادلةِ التالية؟

$$S_8(s) + 8O_2(g) \rightarrow 8SO_2(g)$$

2. كم جرامًا من الماءِ ينتجُ من التفاعلِ التامِّ لـ 3.44 L من غازِ الأكسجين مع غازِ الهيدروجين، تحتَ شروط STP؟

الجواب

1. $18.0\ \text{g}\ S_8$
2. $5.51\ \text{g}\ H_2O$

مسألةٌ نموذجية 9-5

يُستخدَمُ التنجستن W في فتيلِ المصابيحِ الكهربائية، وهو ينتجُ صناعيًا من تفاعلِ أكسيد التنجستن مع الهيدروجين.

$$WO_3(s) + 3H_2(g) \rightarrow W(s) + 3H_2O(l)$$

كم لترًا يلزمُ من غازِ الهيدروجين، عندَ درجة حرارة 35°C وتحت ضغط 0.980 atm، للتفاعلِ التامِّ مع 875 g من أكسيدِ التنجستن؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: معادلةٌ كيميائيةٌ موزونة

كتلةُ المتفاعل لـ WO_3 = 875 g

الضغط (P) لـ H_2 = 0.980 atm

درجةُ الحرارة (T) لـ H_2 = 308 K = 273 + 35°C

المجهول: حجم الهيدروجين باللتر (V)، تحتَ شروطٍ معلومةٍ وغيرِ قياسية.

2 خطّط

يتمُّ إيجادُ عددِ مولاتِ H_2 بتحويل كتلةِ WO_3 إلى مولات، ثم استعمالِ النسبةِ المولية. استخدمْ بعدئذٍ قانونَ الغازِ المثاليّ لتجدَ الحجمَ من عددِ مولات H_2 المحسوبة.

3 احسب

$$875\ \text{g WO}_3 \times \frac{1\ \text{mol WO}_3}{231.84\ \text{g WO}_3} \times \frac{3\ \text{mol H}_2}{1\ \text{mol WO}_3} = 11.3\ \text{mol H}_2$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(11.3\ \text{mol H}_2)\left(\dfrac{0.0821\ \text{L} \bullet \text{atm}}{\text{mol} \bullet \text{K}}\right)(308\ \text{K})}{0.980\ \text{atm}} = 292\ \text{L H}_2$$

4 قيِّم

اختُصرَتِ الوحداتُ بشكلٍ صحيح، وقد قُرِّبَ الجوابُ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. ما الحجمُ اللازمُ من غازِ الكلور، عندَ درجةِ حرارة 38°C، وتحت ضغط 1.63 atm، للتفاعلِ التامِّ مع 10.4 g من الصوديوم، لإنتاج NaCl؟

2. كم لترًا من غازِ أوّلِ أكسيد الكربون، عندَ درجةِ حرارة 27°C، وتحت ضغط 0.247 atm، يمكنُ إنتاجُها من حرقِ 65.5 g من الكربون وفقًا للمعادلةِ التالية؟

$$2\text{C}(s) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}(g)$$

الجواب

1. $3.54\ \text{L Cl}_2$
2. 544 L CO

مراجعةُ القسم 5-3

1. كم لترًا من غازِ الأمونيا يمكنُ إنتاجُها من تفاعل 150. L من غازِ الهيدروجين؟ افترضْ أن تفاعلَ الهيدروجين مع فائضٍ من غازِ النيتروجين كانَ تامًّا، وأن القياساتِ جميعًا جرَت تحتَ الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.

2. كم لترًا من غاز H_2 تحتَ شروط STP يمكنُ إنتاجُها من التفاعل بينَ 4.60 g من الصوديوم وفائضٍ من الماء، وفقًا للمعادلةِ التالية؟

$$2\text{Na}(s) + 2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{NaOH}(aq)$$

3. كم جرامًا من Na يلزمُ للتفاعلِ مع H_2O لتحرير 4.00×10^2 mL من غاز H_2 تحتَ شروط STP؟

4. كم لترًا من غازِ الأكسجين يمكنُ تجميعُها عندَ درجة حرارة 25.0°C وتحت ضغط 0.987 atm عندمَا يتفكَّكُ 30.6 g من $KClO_3$ بالتسخين، وفقًا للمعادلةِ التالية؟

$$2\text{KClO}_3(s) \xrightarrow[\text{MnO}_2]{\Delta} 2\text{KCl}(s) + 3\text{O}_2(g)$$

القســـــم 4-5

التدفُّقُ والانتشار

مؤشراتُ الأداء

- يذكرُ نصَّ قانونِ جراهام للتدفُّق.
- يُحدِّدُ المعدَّلاتِ النسبيةَ لتدفُّقِ غازَينِ لهما كتلتانِ موليتانِ معروفتان.
- يذكرُ العلاقةَ بين سرعاتِ جزيئاتٍ غازيَّةٍ معيّنةٍ وبين كتلِها المولية.

الحركةُ المستمرةُ لجزيئاتِ الغازِ تؤدّي إلى انتشارِها، بحيثُ تملأُ الوعاءَ الذي يوضعُ فيه الغاز. وعمليةُ الامتزاجِ التدريجيِّ لغازَين، بسببِ حركةِ جزيئاتِهما المستمرَّةِ والعشوائية، تسمّى الانتشار diffusion. راجع الفصل 4 وانظرْ إلى الشكل 5-6. أما التدفُّقُ effusion فهو عمليةُ المرورِ العشوائيِّ لجزيئاتِ غازٍ محصورٍ في وعاءٍ من خلالِ ثقوبٍ صغيرةٍ في جدرانِ الوعاء. في هذا القسم، ستتعلَّمُ كيف تُستخدَمُ عمليةُ التدفُّقِ لحسابِ الكتلةِ الموليةِ لغاز.

قانونُ جراهام للتدفُّق

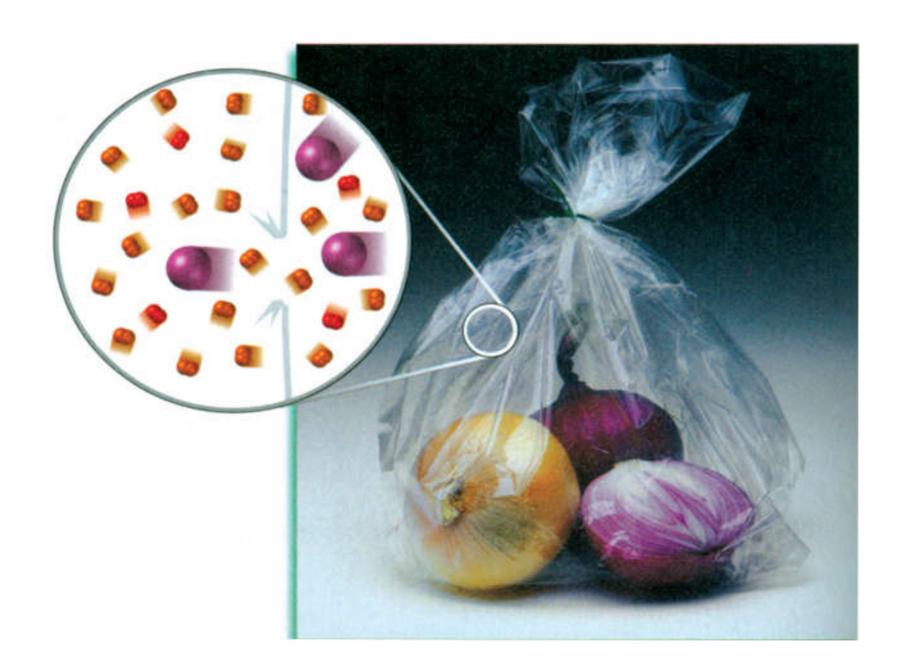
تعتمدُ معدَّلاتُ التدفُّقِ والانتشارِ على السرعاتِ النسبيةِ لجزيئاتِ الغاز. وتتناسبُ سرعةُ جزيئاتِ الغازِ عكسيًّا مع كتلتِه، فكلّما كان الغازُ خفيفًا كانتْ حركةُ جزيئاتِهِ أسرعَ من حركةِ جزيئاتِ الغازِ الثقيل، عند درجةِ الحرارةِ نفسِها للغازَين.

تذكّرْ أن معدَّلَ الطاقةِ الحركيةِ لجزيئاتِ الغازِ يعتمدُ على درجةِ حرارتِه فقط، وهو يساوي $\frac{1}{2}mv^2$. وإذا كانَ لدينا غازانِ مختلفانِ A و B ولهما درجةُ الحرارةِ نفسُها، تكونُ العلاقةُ التاليةُ بينهما صحيحة:

$$\frac{1}{2}M_A{v_A}^2 = \frac{1}{2}M_B{v_B}^2$$



الشكل 6-5 عندَما تُفتحُ قنينةُ عطرٍ تنتشرُ بعضُ جزيئاتِه، وتمتزجُ مع جزيئاتِ الهواءِ خارجَ القنينة. وفي الوقتِ نفسِه، تنتشرُ جزيئاتُ الهواءِ، من أكسجين ونيتروجين وغيرهما، وتمتزجُ مع جزيئاتِ العطرِ داخلَ القنينة.



الشكل 7-5 عندما تشمُّ رائحةَ البصل، حتى وهو داخلَ كيسٍ محكمِ الإغلاق، تكونُ جزيئاتُ الموادِّ المتطايرةِ التي تشكلُ رائحةَ البصلِ قد تدفَّقتْ عبرَ ثقوبِ الكيسِ إلى الخارج.

تمثِّلُ M_A و M_B الكتلتَين الموليتَين للغازَين A و B. وتمثِّلُ v_A و v_B سرعتَيْ جزيئاتِ الغازَين. وبضربِ المعادلةِ في 2 نحصلُ على:

$$M_A {v_A}^2 = M_B {v_B}^2$$

وإذا أردْتَ مقارنةَ سرعتَيِ الغازَين، عليك أولاً إعادةَ ترتيبِ المعادلةِ السابقةِ لوضعِ السرعتَين بشكلِ نسبة.

$$\frac{{v_A}^2}{{v_B}^2} = \frac{M_B}{M_A}$$

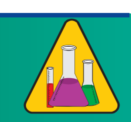
ثم يؤخذُ الجذرُ التربيعيُّ لطرفَيِ المعادلة.

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}}$$

تُبيِّنُ هذه المعادلةُ أن سرعتَيْ جزيئاتِ غازَين مختلفَين تتناسبانِ عكسيًّا مع الجذرِ التربيعيِّ للكتلة المولية لكلٍّ منهما. وبما أن معدَّلَ التدفُّقِ يتناسبُ طرديًّا مع سرعةِ الجزيئات، فيمكنُ إعادةُ كتابةِ المعادلةِ كالتالي:

$$\frac{\text{معدَّلُ تدفُّق A}}{\text{معدَّلُ تدفُّق B}} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}}$$

في عام 1880 درسَ الكيميائيُّ الاسكتلنديُّ توماس جراهام ظاهرتَي التدفُّقِ والانتشارِ لدى الغازات. يوضحُ الشكل 5-7 عمليةَ التدفُّق. قارنْ بين عمليةِ التدفُّقِ هذه وبين عمليةِ الانتشار. تمثِّلُ المعادلةُ المشتقَّةُ السابقةُ النصَّ الرياضيَّ لأحدِ استنتاجاتِ جراهام، وهي تصفُ معدّلاتِ التدفُّق. ينصُّ **قانون جراهام للتدفُّق Graham's law of effusion** على التالي: ***يتناسبُ معدَّلُ تدفُّقِ الغازاتِ عكسيًّا مع الجذرِ التربيعيِّ لكتلِها المولية، تحتَ الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة .***



نشاط عملي سريع

الانتشار

ارتدِ قفازات الفرن لدى تعاملِك بالأواني الساخنة



المواد

- أمونيا
- عطر
- كأسان سعةُ كلٍّ منهما 250 mL
- زجاجتا ساعة
- دورقٌ مدرَّجٌ سعة 10 mL
- ساعةُ إيقافٍ رقمية

السؤال

هل تنتشرُ الغازاتُ المختلفةُ بمعدَّلاتٍ مختلفة؟

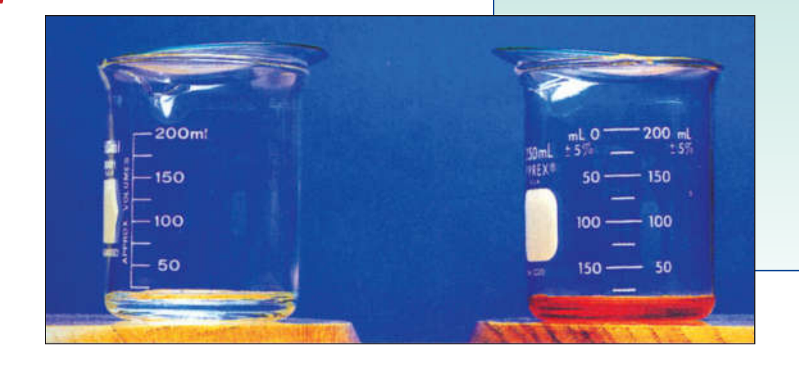
الطريقة

سجِّلْ نتائجَك جميعًا في جدولِ بيانات.

1. اعملْ في الهواءِ الطلق، أو في غرفةٍ منفصلةٍ عن الغرفةِ التي ستجري فيها بقيةَ التجربة. اسكبْ ما مقدارُه 10 mL من الأمونيا في إحدى الكأسَين (سعة 250 mL) وغطِّ فوهتَها بزجاجةِ ساعة. اسكبِ الكمّيةَ نفسَها من عطرٍ في الكأسِ الثانية، وغطِّ فوهتَها بزجاجةِ ساعة.
2. انقلِ الكأسَين إلى غرفةٍ كبيرةٍ خاليةٍ من أيِّ تيّارِ هواء. ضعِ الكأسَين على الارتفاعِ نفسِه وبينَهما مسافةٌ من 4 إلى 5 أمتار. اطلبْ إلى أحدِ المتعلّمين أن يتوسّطَ المسافةَ بين الكأسين، وارفعِ الغطاءَين عنهما في الوقتِ نفسِه.
3. تبيّنْ من المتعلّمِ أيّ من المادتَين (الأمونيا أم العطر) يشمُّ رائحتَها أولاً. سجِّلِ الزمنَ اللازمَ لذلك. وسجِّلِ الزمنَ اللازمَ لشعورِ المتعلّم برائحةِ المادةِ الثانية. قمْ بتهويةِ الغرفةِ بعدَ الانتهاءِ من التجربة.

المناقشة

1. ما الزمنُ الذي استغرقَه الغازانِ للوصولِ إلى أنفِ المتعلّمِ وشعورِه برائحتَيْهما؟
2. فضلاً عن الكتلةِ الجزيئيةِ (التي تحدِّدُ معدَّلَ الانتشار)، ما العواملُ الأخرى التي يمكنُ أن تؤثِّرَ في سرعةِ شمِّ المتعلّمِ لكلٍّ من الغازينِ على حدة؟



تطبيقاتُ قانونِ جراهام

أظهرَتْ تجاربُ جراهام على كثافاتِ الغازات أن كثافةَ الغازِ تتناسبُ طرديًّا مع كتلتِهِ المولية. لهذا، يمكنُ أن يُستبدلَ الجذرُ التربيعيُّ لكثافةِ الغازِ بالجذرِ التربيعيِّ للكتلةِ المولية في المعادلةِ الواردةِ في الصفحةِ السابقة. وبذلك تحصلُ على المعادلةِ التالية:

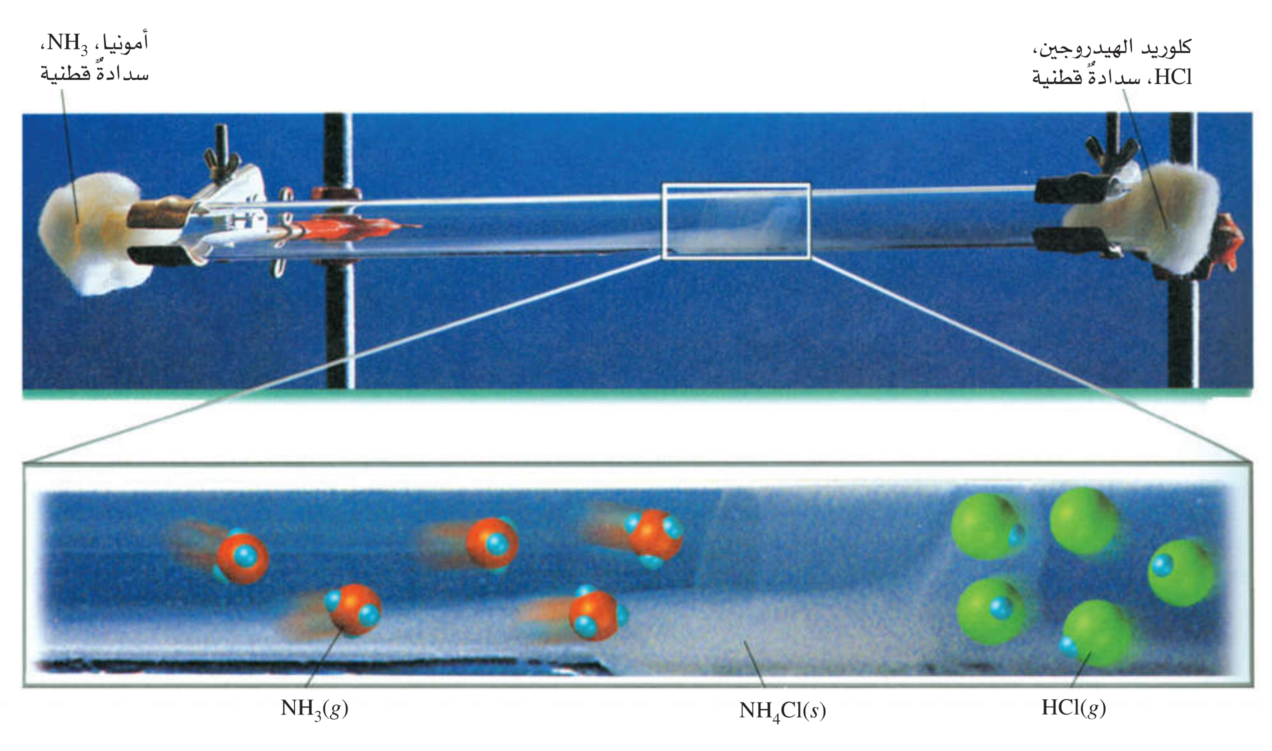
$$\frac{\text{معدَّلُ تدفُّق A}}{\text{معدَّلُ تدفُّق B}} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}} = \frac{\sqrt{\text{كثافة}_B}}{\sqrt{\text{كثافة}_A}}$$

في التجربةِ المبيَّنةِ في الشكل 5-8، ينتشر من طرفَيِ الأنبوبةِ الزجاجيَّةِ غازُ الأمونيا NH_3 وغازُ كلوريد الهيدروجين HCl، كلٌّ منهما في اتجاهِ الآخر. تتكوَّنُ حلقةٌ بيضاءُ في نقطةِ التقاءِ الغازَينِ واتّحادِهما كيميائيًّا. الحلقةُ البيضاءُ هي مادَّةُ كلوريد الأمونيوم NH_4Cl الصلبة. لاحظْ أن الحلقةَ تتكوَّنُ في الأنبوبةِ قريبًا من طرف HCl، وبعيدًا عن طرف NH_3. هذا يعني أن NH_3 قد انتشرَ أسرعَ من HCl.

لو كانَ للغازَينِ ضغطُ البخارِ نفسُه (الناتجُ من تركيزَينِ متساويَين)، لفُسِّرتْ هذه النتيجةُ على أنها تعودُ بكاملِها إلى الاختلافِ في الكتلةِ المولية، لأن جزيئاتِ NH_3 الأخفَّ (كتلتُها المولية = 17.04 g) تنتشرُ أسرعَ من جزيئاتِ HCl الأثقل (كتلتُها المولية = 36.46 g). لكن الحقيقةَ هي أن معدَّلَ الانتشارِ يعتمدُ على الكتلةِ الموليةِ للجزيئاتِ وعلى تركيزِها.

ويزوِّدُنا قانونُ جراهام أيضًا بطريقةٍ لتحديدِ الكتلِ الموليةِ للغازات. ويمكنُ بواسطةِ هذا القانونِ مقارنةُ معدّلاتِ تدفُّقِ الغازاتِ ذاتِ الكتلِ الموليةِ المعروفةِ والمجهولةِ ما دامَت عند درجةِ الحرارةِ نفسِها وتحت الضغطِ نفسِه. بعدئذٍ، يمكنُ حسابُ الكتلةِ الموليةِ المجهولة باستخدامِ قانونِ جراهام. ويتمثَّلُ أحدُ استخداماتِ قانونِ جراهام في فصلِ نظيرِ اليورانيوم الثقيل $^{238}_{92}U$ عن نظيرِ اليورانيوم الأخف $^{235}_{92}U$. ويتمُّ ذلك بتحويلِ اليورانيوم إلى مركّباتٍ غازيّة ويجري إدخالُها في أغشيةٍ مساميّة، حيث تنتشرُ الغازاتُ المختلفةُ وفقًا لكثافاتِها المختلفة، وتتمُّ بذلك عمليةُ الفصل.

الشكل 5-8 وُضعتْ سدادةٌ من القطنِ مبلَّلةٌ بمحلولِ الأمونيا في طرفِ أنبوبةٍ زجاجية، ووُضعَتْ في الطرفِ الآخرِ سدادةٌ أخرى مبلَّلةٌ بمحلولِ كلوريد الهيدروجين قبلَ عدَّةِ دقائقَ من التقاطِ الصورة. لماذا تكوَّنتِ الحلقةُ البيضاءُ من مادَّةِ كلوريد الأمونيومِ قريبًا من الطرفِ الأيمنِ للأنبوبة، وبعيدًا عن طرفِها الأيسر؟



مسألةٌ نموذجية 5-10

قارنْ بين معدَّلَيْ تدفُّقِ الهيدروجين والأكسجين الموجودَين تحت الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة.

الحلّ

1 حلِّل

المعطى: هويةُ الغازَين H_2 و O_2

المجهول: المعدَّلانِ النسبيانِ للتدفُّق

2 خطِّط

نسبةُ الكتلِ المولية ← نسبةَ معدَّلاتِ التدفُّق

يمكنُ إيجادُ نسبةِ معدَّلاتِ التدفُّقِ لغازَينِ موجودَينِ تحت الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة باستخدامِ قانونِ جراهام كالتالي:

$$\frac{\text{معدَّلُ تدفُّق } A}{\text{معدَّلُ تدفُّق } B} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}}$$

3 احسب

$$\frac{\text{معدَّلُ تدفُّق } H_2}{\text{معدَّلُ تدفُّق } O_2} = \frac{\sqrt{M_{O_2}}}{\sqrt{M_{H_2}}} = \frac{\sqrt{32.00\ \text{g/mol}}}{\sqrt{2.02\ \text{g/mol}}} = \sqrt{\frac{32.00\ \text{g/mol}}{2.02\ \text{g/mol}}} = 3.98$$

يتدفَّقُ الهيدروجين أكثرَ بـ 3.98 مراتٍ من سرعةِ تدفُّقِ الأكسجين.

4 قيِّم

قُدِّرتِ النتائجُ بشكلٍ صحيح، وقرِّبَتْ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

تمارينُ تطبيقية

1. تتدفَّقُ عيِّنةٌ من الهيدروجين عبرَ وعاءٍ مساميٍّ بسرعةٍ تفوقُ 9 مرات سرعةَ غازٍ مجهول. احسبِ الكتلةَ المولية لهذا الغاز.
2. قارنْ بين معدَّلَي تدفُّقِ ثاني أكسيدِ الكربون وكلوريدِ الهيدروجين الموجودَين تحت الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة.
3. يتحرَّكُ جزيءٌ من غازِ النيون بمعدَّلِ 400 m/s عند درجةِ حرارةٍ معيّنة. احسبْ معدَّلَ سرعةِ جزيءٍ من غازِ البيوتان C_4H_{10}، عند درجةِ الحرارةِ نفسِها.

الجواب

1. 160 g/mol
2. سيتدفق CO_2 حوالي 0.9 مرة من HCl.
3. 235 m/s

مراجعةُ القسم 5-4

1. قارنْ بين الانتشارِ والتدفُّق.
2. احسبِ القيمةَ التقريبيةَ للكتلةِ المولية لغازٍ يتدفَّقُ بسرعةٍ تبلغُ 1.6 مرّة من معدَّلِ تدفّقِ ثاني أكسيدِ الكربون.
3. رتِّبِ الغازاتِ التاليةَ تصاعديًّا، بحسبِ معدَّلِ سرعةِ جزيئاتِها عند درجةِ حرارة 25°C. الغازاتُ هي H_2O، He، HCl، BrF، NO_2.

مراجعةُ الفصل 5

ملخّصُ الفصل

1-5

- ينصُّ قانونُ جايلوساك لحجوم الغازاتِ المتَّحدةِ على التالي: يمكنُ أن يعبَّرَ عن حجوم المتفاعلاتِ والنواتج الغازيةِ بنسبٍ عدديةٍ بسيطة، وذلك مع ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط.
- ينصُّ قانونُ أفوجادرو على التالي: تحتوي الحجومُ المتساويةُ من الغازاتِ المختلفة، على العددِ نفسِه من الجزيئات، وذلك تحت الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط. لذا، يتناسبُ حجمُ الغازِ طرديًّا مع عددِ مولاتِه مع ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط.
- الحجمُ الذي يشغلُهُ مولٌ واحدٌ من غازٍ مثاليٍّ تحتَ شروط STP، يسمّى الحجمَ الموليَّ القياسي، ويبلغُ 22.4 L تحتَ هذه الشروط.

المفردات

الحجمُ الموليُّ القياسيُّ للغاز (131) standard molar volume of gas

قانونُ أفوجادرو (130) Avogadro's law

قانونُ جايلوساك لحجوم الغازاتِ المتحدة (129) Gay-Lussac's law of combining volumes of gases

2-5

- يمكنُ تجميعُ قوانينِ شارل وبويل وأفوجادرو لتكوين قانونٍ للغازاتِ يسمّى قانونَ الغازِ المثاليّ، ويمثّلُ رياضيًّا بالتالي:

$$PV = nRT$$

- تعتمدُ قيمةُ ثابتِ الغازِ المثاليِّ ووحداتُه على وحداتِ المتغيِّراتِ المستخدمةِ في قانونِ الغازِ المثالي.
- يُستخدمُ قانونُ الغازِ المثاليِّ لحسابِ ضغطِ الغازِ أو حجمِه أو درجةِ حرارتِه أو عددِ مولاتِه، عندَ معرفةِ ثلاثةٍ من هذهِ المتغيِّراتِ الأربعة، شريطةَ ثباتِ ظروفِ عينةِ الغاز.
- يمكنُ استخدامُ قانونِ الغازِ المثاليِّ أيضًا، لحسابِ كثافةِ الغازِ أو كتلتِه المولية.

المفردات

ثابتُ الغازِ المثالي (137) ideal gas constant

قانونُ الغازِ المثالي (135) ideal gas law

3-5

- عندَ معرفةِ حجمِ الغازِ المتفاعلِ في معادلةٍ موزونة، يصبحُ في الإمكانِ حسابُ حجومِ المتفاعلاتِ والنواتجِ الغازيةِ باستخدامِ نسبِها الحجميَّةِ تحت الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.
- عندَ معرفةِ حجمِ الغازِ المتفاعلِ أو الناتج، يمكنُ حسابُ كتلةِ المتفاعلِ الآخرِ أو الناتج باستخدامِ قانونِ الغازِ المثالي وعواملِ التحويلِ من المولِ إلى الكتلة.
- عندَ معرفةِ كتلةِ مادة، يمكنُ استخدامُ قانونِ الغازِ المثالي، وعواملِ التحويلِ المناسبةِ من الكتلةِ إلى المول، لحسابِ حجمِ الغاز.

4-5

- ينصُّ قانونُ جراهام للتدفُّق على التالي: يتناسبُ معدَّلُ تدفُّقِ الغازاتِ عكسيًّا مع الجذرِ التربيعيِّ لكتلِها المولية، تحت الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.
- يعكسُ قانونُ جراهام حقيقةَ أن الجزيئاتِ الأصغرِ كتلةً تتدفَّقُ أسرعَ من الجزيئاتِ الأكبرِ كتلة.
- يمكنُ استخدامُ قانونِ جراهام لمقارنةِ معدَّلاتِ تدفُّقِ الغازاتِ الموجودةِ تحت الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط.
- عندَ معرفةِ معدَّلَي التدفُّقِ النسبيَّينِ لغازَين وهويةِ أحدِهما، يمكنُ استخدامُ قانونِ جراهام لتقديرِ الكتلةِ الموليةِ للغازِ الآخر.

المفردات

قانونُ جراهام للتدفُّق (147) Graham's law of effusion

مراجعةُ المفاهيم

1. أ. ما الضوابطُ التي تؤخذ بالاعتبارِ عندَ تطبيقِ قانونِ جايلوساك لحجومِ الغازاتِ المتحدة؟
ب. عند ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط، ما العلاقةُ بينَ حجمِ غازٍ وعددِ جزيئاتِه الموجودة؟

2. وفقًا لقانون أفوجادرو،
أ. ما العلاقةُ بينَ حجمِ الغازِ وعددِ مولاتِه، عند ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط؟
ب. ما التعبيرُ الرياضيُّ الذي يصفُ هذه العلاقة؟

3. ما العلاقةُ بينَ عددِ الجزيئاتِ وكتلةِ 22.4 L من غازاتٍ مختلفةٍ تحتَ شروط STP؟

4. لِمَ يجبُ تحديدُ درجةِ الحرارةِ والضغط، حينَ تذكرُ قيَمُ كثافةِ الغاز؟

5. اكتبِ المعادلةَ التي يعبّرُ عنها قانونُ الغازِ المثالي؟

6. أ. متى يطبَّقُ قانونُ الغازِ المثالي؟
ب. لماذا تؤخذ بالاعتبارِ الوحداتُ المستعملةُ لدى تطبيقِ هذا القانون؟

7. أ. ما العلاقةُ بينَ النسبِ المولية والنسبِ الحجميةِ للمتفاعلاتِ والنواتجِ الغازية، في المعادلةِ الموزونة؟
ب. ما الضوابطُ المطبَّقةُ في استخدامِ النسبِ الحجمية، لحلِّ مسائلِ الحساباتِ الكيميائيةِ للغازات؟

8. أ. قارنْ بين ظاهرتَي الانتشارِ والتدفُّق.
ب. أيُّ العوامل يحدِّدُ المعدَّلاتِ التي بموجبها تخضعُ الجزيئاتُ المختلفةُ لهاتَينِ الظاهرتَينِ عند ثباتِ درجةِ الحرارة؟

مسائل

الحجمُ الموليُّ وكثافةُ الغاز

9. افترضْ أن عيّنةً من غاز O_2 حجمُها 5.00 L عند درجةِ حرارةٍ وضغطٍ معيَّنين، وتحتوي على 1.08×10^{23} جزيء. فكم جزيئًا يحتوي الحجمان التاليان من الغازات تحت الشروط نفسها من درجةِ حرارةٍ وضغط؟
أ. 5.00 L من H_2
ب. 5.00 L من CO_2

10. كم جزيئًا في كلٍّ مما يلي:
أ. 1.00 mol من O_2
ب. 11.5 g من NO_2

11. جِدْ كتلةَ كلٍّ مما يلي:
أ. 2.25 mol من Cl_2
ب. 3.01×10^{23} جزيء من H_2S

12. ما الحجمُ باللترِ لكلٍّ مما يلي تحتَ شروط STP (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-1):
أ. 3.50 mol من F_2
ب. 1.20×10^{-6} mol من He

13. كم مولاً في كل مما يلي تحتَ شروط STP؟
أ. 22.4 L من N_2
ب. 5.60 L من Cl_2
ج. 70.0 mL من NH_3

14. جِدْ كتلةَ كلٍّ مما يلي بالجرام، تحتَ شروط STP (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-2):
أ. 2.80 L من CO_2
ب. 15.0 mL من SO_2
ج. $3.40\ cm^3$ من F_2

15. جِدْ حجمَ كلٍّ مما يلي باللتر، تحتَ شروط STP:
أ. 8.00 g من O_2
ب. 0.0170 g من H_2S

قانونُ الغازِ المثالي

16. احسبِ الضغطَ بـ atm لكلٍّ مما يلي (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-3):
أ. 2.50 L من HF تحتوي على 1.35 mol عندَ درجةِ حرارة 320. K
ب. 7.50×10^{2} mL من CO_2 تحتوي على 2.15 mol عندَ درجةِ حرارة 57°C

17. احسبِ الحجمَ الذي يشغلُه كلُّ مما يلي، باللتر (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-4):
أ. 2.00 mol من H_2 عند درجةِ حرارة 300. K وتحت ضغط 1.25 atm
ب. 0.425 mol من NH_3 عند درجةِ حرارة 37°C وتحت ضغط 0.724 atm
ج. 4.00 g من O_2 عند درجةِ حرارة 57°C وتحت ضغط 0.888 atm

18. جِدْ عددَ مولاتِ غازٍ يشغلُ
أ. 1.25 L عند درجةِ حرارة 250. K وضغط 1.06 atm
ب. 0.80 L عند درجةِ حرارة 27°C وضغط 0.925 atm

19. جِدْ كتلةَ كلٍّ مما يلي (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-5):
أ. 3.50 L من NH_3 عند ضغط 0.921 atm ودرجة حرارة 27°C
ب. 125 mL من SO_2 عند ضغط 0.822 atm ودرجة حرارة −53°C

20. جِدِ الكتلةَ الموليةَ لكلِّ غازٍ تمَّ قياسُه تحتَ الشروطِ المحدّدة (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-6):
أ. 0.650 g تشغل 1.12 L عند درجةِ حرارة 280. K وتحت ضغط 1.14 atm
ب. 1.05 g تشغل 2.35 L عند درجةِ حرارة 37°C وتحت ضغط 0.840 atm

21. إذا بلغَتْ كثافةُ غازٍ مجهولٍ 3.20 g/L عند درجةِ حرارة −18°C وتحت ضغطٍ 2.17 atm. فما الكتلةُ الموليةُ لذلك الغاز؟

22. تعتمدُ إحدى الطرقِ المستخدمةِ في قياسِ درجةِ الحرارةِ لمركزِ الشمسِ على افتراضِ أنَّ المركزَ يحتوي على غازاتٍ معدَّلُ كتلتِها الموليةِ 2.00 g/mol. فإذا بلغَتْ كثافةُ مركزِ الشمسِ $1.40\ g/cm^3$ تحت ضغط 1.30×10^9 atm، فكم تكونُ درجةُ حرارةِ المركزِ مقيسةً بالدرجاتِ المئوية؟

الحساباتُ الكيميائيةُ للغازات

23. يتفاعلُ أوّلُ أكسيدِ الكربون مع الأكسجين لإنتاجِ ثاني أكسيد الكربون. عند تفاعل 1.0 L من أوّلِ أكسيد الكربون مع الأكسجين،
أ. كم لترًا من الأكسجين يلزمُ لذلك التفاعل؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-7)
ب. كم لترًا من ثاني أكسيد الكربون ينتجُ من ذلك؟

24. يشتعلُ غازُ الأسيتيلين C_2H_2 لإنتاجِ ثاني أكسيد الكربون وبخارِ الماء. فإذا نتجَ 75.0 L من CO_2،
أ. كم لترًا من C_2H_2 تمَّ تفاعلُها؟
ب. ما حجمُ بخار H_2O الناتج؟
ج. ما حجمُ O_2 اللازم؟

25. إذا تفاعلَ ثاني كبريتيدِ الكربون السائلُ مع 4.50×10^2 mL من الأكسجين لإنتاجِ غازَيْ ثاني أكسيدِ الكربون وثاني أكسيدِ الكبريت، فما حجمُ كلٍّ من هذَين الغازَين الناتجَين؟

26. افترضْ أنّ 5.60 L من H_2 تحتَ شروط STP تتفاعل مع CuO وفقًا للمعادلةِ التالية:

$$CuO(s) + H_2(g) \rightarrow Cu(s) + H_2O(g)$$

تأكَّدْ قبلَ البدءِ بحساباتِك أنّ المعادلةَ موزونة.
أ. كم مولاً من H_2 تتفاعل؟ (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-8)
ب. كم مولاً من Cu ينتج؟
ج. كم جرامًا من Cu ينتج؟

27. يتفكّكُ هيدروكسيدُ الحديد (III) الصلبِ لإنتاجِ أكسيدِ الحديد (III) وبخارِ الماء. فإذا نتجَ 0.75 L من بخارِ الماءِ تحتَ شروط STP،
أ. كم جرامًا من هيدروكسيدِ الحديد (III) يكونُ قدِ استُخدم؟
ب. كم جرامًا من أكسيدِ الحديد (III) ينتج؟

28. إذا احترقَ 29.0 L من الميثان CH_4 احتراقًا تامًّا تحت ضغط 0.961 atm وعند درجةِ حرارة 20°C، فكم لترًا يتكوَّنُ من كل ناتج؟

29. في محرِّكِ السيارةِ تتمُّ عمليةُ احتراقٍ لبخارِ الأوكتان مع أكسجين الهواء. فإذا كانت نسبةُ الأكسجين 20.9% من حجم الهواء،
أ. كم لترًا من الهواءِ يلزمُ لاحتراق 25.0 L من بخارِ الأوكتان C_8H_{18}، بصورة تامّة؟
ب. ما حجمُ كلٍّ من الناتجَين المتكوِّنَين؟

30. تحضَّرُ الأمونيا بطريقةِ هابر عندَ درجةِ حرارة 550.°C وتحت ضغط 2.50×10^2 atm. فإذا استُخدمَ 10.0 kg من النيتروجين (المتفاعلِ المحدِّد) واستمرَّتْ عمليةُ التفاعلِ حتى نهايتِها، فما حجمُ الأمونيا المتكوِّنة؟

31. عندَما ينفجرُ النيتروجيليسرين $C_3H_5(NO_3)_3$ السائل، ينتجُ ثاني أكسيدِ الكربون والنيتروجين والأكسجين وبخارِ الماء. فإذا انفجر 5.00×10^2 g من النيتروجيليسرين تحتَ شروط STP، فما الحجمُ الكليُّ للغازاتِ الناتجةِ تحت شروط STP؟

32. المصدرُ الرئيسُ للكبريتِ على الأرض، هو ترسُّباتُ الكبريتِ الحرِّ الموجودةِ في مناطقِ البراكينِ الناشطة. تكوَّنَ الكبريتُ في البدايةِ من تفاعلِ نوعَين من الأبخرةِ البركانية، SO_2 و H_2S، ونتج $H_2O(l)$ و $S_8(s)$. ما الحجمُ اللازمُ من كلٍّ من الغازَين المتفاعلَين، تحت ضغط 0.691 atm وعند درجةِ حرارة 22°C، لتكوين ترسُّباتِ كبريتيةٍ مقدارُها 4.5×10^5 kg على سفوحِ أحدِ البراكين؟

33. تتفاعلُ عيِّنةٌ من كربيد الكالسيوم الصلب CaC_2 كتلتُها 3.25 g مع الماءِ، لتكوين غازِ الأستيلين C_2H_2 ومحلول هيدروكسيد الكالسيوم. فإذا جُمِعَ الأستيلين فوقَ الماءِ عندَ درجة حرارة 17°C وتحت ضغط 0.974 atm، فكم مليلترًا من الأستيلين ينتج؟

34. زنِ المعادلةَ الكيميائيةَ التالية:

$$Mg(s) + O_2(g) \rightarrow MgO(s)$$

ثم حدِّدْ، بالاعتمادِ على كميةِ المتفاعلِ أو الناتجِ المعطى، الكمياتِ المرادفةَ من المتفاعلاتِ والنواتجِ، مفترضًا أن النظامَ تحتَ شروطِ STP.

أ. $22.4\ L\ O_2 = ___\ mol\ O_2 \rightarrow ___\ mol\ MgO$

ب. $11.2\ L\ O_2 = ___\ mol\ O_2 \rightarrow ___\ mol\ MgO$

ج. $1.40\ L\ O_2 = ___\ mol\ O_2 \rightarrow ___\ mol\ MgO$

التدفُّق والانتشار

35. قارنْ بين معدَّلاتِ التدفُّقِ لأزواجِ الغازاتِ التالية، تحت الشروطِ نفسها من الضغطِ ودرجةِ الحرارة:

أ. الهيدروجين والنيتروجين. (انظرِ المسألةَ النموذجية 5-10)

ب. الفلور والكلور.

36. ما نسبةُ معدَّلِ سرعةِ جزيئاتِ الهيدروجين إلى معدَّلِ سرعةِ ذرّاتِ النيون تحت الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة؟

37. لجزيئاتِ الفلور معدَّلُ سرعةٍ مقدارُها 0.0380 m/s تحتَ شروطٍ معيَّنةٍ من درجةِ حرارةٍ وضغط. ما معدَّلُ سرعةِ جزيئاتِ ثاني أكسيد الكبريت تحتَ الشروطِ نفسِها؟

38. تتدفَّقُ عيِّنةٌ من الهيليوم عبرَ وعاءٍ مساميٍّ بسرعةٍ تفوقُ 6.50 مرات سرعةَ تدفُّقِ غازٍ مجهول X. ما الكتلةُ الموليةُ للغازِ المجهول؟

مراجعةٌ متنوعة

39. يتدفَّقُ غازٌ مجهولٌ بسرعةٍ تبلغُ 0.850 مرة من معدَّلِ تدفُّقِ ثاني أكسيد النيتروجين، NO_2. ما مقدارُ الكتلةِ الموليةِ للغازِ المجهول؟

40. استخدمْ قانونَ الغازِ المثالي، $PV = nRT$، لاشتقاقِ قانونَيْ بويْل وشارل.

41. يحتوي وعاءٌ على 265 mL من غازِ الكلور Cl_2. افترضْ أن عيِّنةَ الغازِ موجودةٌ تحتَ شروطِ STP، فما كتلتُها؟

42. افترضْ أن 3.11 mol من ثاني أكسيد الكربون موجودةٌ تحتَ ضغط 0.820 atm وعند درجةِ حرارة 39°C. ما حجمُ العيِّنةِ باللتر؟

43. قارنْ بين معدَّلاتِ انتشارِ أوَّلِ أكسيدِ الكربون، CO وثالثِ أكسيدِ الكبريت، SO_3.

44. عيِّنةُ غازٍ كتلتُها 0.993 g تشغلُ حجمًا مقدارُه 0.570 L عندَ درجةِ حرارة 281 K وتحت ضغط 1.44 atm. ما الكتلةُ الموليةُ للغاز؟

45. غازٌ كثافتُه 3.07 g/L تحتَ شروطِ STP. احسبِ الكتلةَ الموليةَ لهذا الغاز.

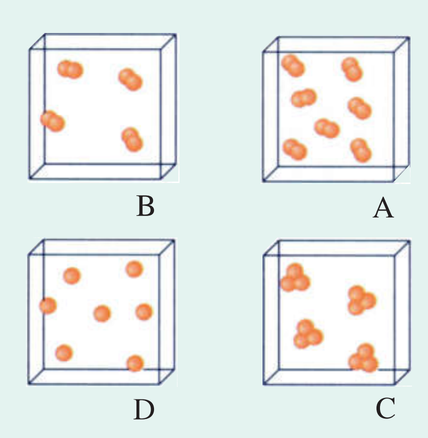
46. كم مولاً يلزمُ من غازِ الهيليوم لملءِ منطادٍ غازيٍّ حجمُه $1000.\ cm^3$ عندَ درجةِ حرارة 32°C و تحت ضغط 752 mm Hg؟

47. جُمِّعَتْ عيِّنةُ غازٍ عندَ درجةِ حرارة 16°C و تحت ضغط 0.982 atm. افترضْ أن كتلةَ العيِّنةِ 7.40 g وحجمَها 3.96 L. فما حجمُ الغازِ تحتَ شروطِ STP، وما كتلتُه الموليةُ.

تفكيرٌ ناقد

48. **ربطُ أفكار:** اكتبْ علاقاتٍ رياضيةً تربطُ فيها بينَ معدلات التدفُّق والكتل المولية والكثافة لغازَينِ مختلفَينِ A و B.

49. تفسيرُ مفاهيم: تبيِّنُ الأشكالُ التاليةُ حجومًا متساويةً لغازاتٍ مختلفة.



استخدمْ هذه الأشكالَ في الإجابةِ عن الأسئلةِ التالية:

أ. هل هذه الغازاتُ موضوعةٌ عند درجةِ الحرارةِ نفسِها وتحت الضغطِ نفسِه؟ كيف عرفت؟

ب. إذا كانتِ الكتلةُ الموليةُ للغازِ B، هي 38 g/mol، والكتلةُ الموليةُ للغازِ C، هي 46 g/mol، فعيِّنْهُ أيَّ الغازيْنِ أكثرُ كثافة؟

ج. لجعل كثافتَي الغازَين C و B متساويتَين، أيُّ الغازَين يجبُ زيادةُ حجمِه؟

د. إذا تساوَتْ كثافتا الغازَين A و C، فما العلاقةُ بينَ كتلتَيهما الجزيئية؟

بحثٌ وكتابة

50. كيفَ يمكنُ للغطّاسينَ في البحرِ أن يستغلّوا لمصلحتهم القوانينَ والمبادئَ التي تصفُ سلوكَ الغازات؟ ما الاحتياطاتُ التي ينبغي أن يتَّخذوها لمنعِ حدوثِ مشكلات؟

51. اشرحْ طريقةَ تسييلِ الغازات. ما الموادُّ التي توجدُ كغازاتٍ عند درجةِ حرارةِ الغرفة، وتُستخدمُ عادةً على شكلِ سوائل؟ لماذا؟

52. ابحثْ في العلاقةِ بين المتفجِّراتِ وإعلانِ جائزةِ نوبل. اكتبْ تقريرًا تصفُ فيه ما وجدتَ.

تقويم بديل

53. استخدمْ ساعةَ إيقافٍ وموادَّ لها روائحُ طيّارةٌ كالعطور، ونكهاتِ الأغذيةِ وقشورِ الفاكهةِ والبصل، لتُسجِّلَ الفتراتِ الزمنيةَ التي يستغرقُها وصولُ روائحِ هذه الموادِّ إلى أنفك. سجِّلْ ملاحظاتِك حولَ سرعةِ انتشارِ مكوِّناتِ تلك الروائح، في الجدول. وظِّفْ مصادرَ المعلوماتِ المتوافرةَ للوصولِ إلى التركيبِ الكيميائيِّ لبعضِ المركَّباتِ المعروفة، ثم احسبِ الكتلَ الموليةَ للمركَّباتِ الأخرى غيرِ المعروفة، وسجِّلْ في الجدولِ ما توصَّلْتَ إليه. تحقَّقْ من النتائجِ التجريبيةِ التي توصَّلْتَ إليها، بمقارنةِ سرعةِ الانتشارِ مع الكتلِ الموليةِ لتلك المواد. توصَّلْ إلى استنتاجاتِك ودوِّنها في خانةِ الملاحظاتِ في الجدول.

المادة	زمنُ الانتشار	الكتلةُ المولية (معدل الكتلة المولية)	ملاحظات
عطور			
منكِّهاتُ طعام			
قشرُ برتقال			
قشرُ تفّاح			
بصل			
ثوم			
أسيتون			
إيثر ثنائي الإيثيل			

ملاحظة: عندَ تسجيلِ الزمن، ابقَ على مسافةٍ ثابتةٍ من تلك المواد.

الفصـــل 6

السوائلُ والموادُّ الصلبة



يمثِّلُ الترتيبُ الكلّيُّ الثلاثيُّ الأبعادِ لجسيماتِ البلّورةِ ما يُعرفُ بالتركيبِ البلّوري

القســـم 1-6

الســوائل

مؤشرات الأداء

- يصفُ حركةَ الجسيماتِ في السوائل، وخصائصَ السوائلِ، وفقًا لنظريةِ الحركةِ الجزيئية.
- يتعرَّفُ العمليةَ التي تتحوَّلُ خلالها السوائلُ إلى غازات.
- يوضحُ العمليةَ التي تتحوَّلُ فيها السوائلُ إلى موادَّ صُلبة.

الماءُ الذي تتلاطمُ أمواجُهُ على شاطئِ البحر، والصهارةُ المندفعةُ من فُوَّهةِ بركان، هما مثالانِ على المادة في حالتِها السائلة. وعندَما تفكِّرُ في محيطاتِ الكرةِ الأرضية، وبحيراتِها وأنهارِها وسوائلَ أخرى متعدِّدةٍ تراها في كلِّ يوم، قد لا تصدِّقُ أن السوائلَ هي الحالةُ الأقلُّ شيوعًا من الحالاتِ الأخرى للمادةِ الموجودةِ في كونِنا هذا. فالسوائلُ أقلُّ شيوعًا من الموادِّ الصلبةِ والغازيّةِ والبلازمية، لأن المادةَ تبقى في حالتِها السائلة ضمن مدًى نسبيٍّ ضيِّقٍ فقط من درجاتِ الحرارةِ والضغط.

وفي هذا القسمِ ستتعرَّفُ خصائصَ الحالةِ السائلة، وتقارنُها مع خصائص كلٍّ من حالتَي المادّة: الصلبةِ والغازيّة. وستناقشُ هذه الخصائصَ موظّفًا نظريةَ الحركةِ الجزيئية.

خصائصُ السوائلِ ونظريةُ الحركةِ الجزيئية

يمكنُ وصفُ السائلِ بأنه المادةُ ذاتُ الحجمِ الثابت، والتي تأخذُ شكلَ الإناءِ الذي يحتوي عليها. ويمكنُ فهمُ خصائصِ السوائلِ من خلالِ تطبيقِ نظريةِ الحركةِ الجزيئية، مع الأخذِ في الاعتبارِ حركةَ هذه الجزيئاتِ وترتيبَها وقوى التجاذبِ بينها.

وكما هي الحالُ في الغازات، تكونُ جسيماتُ السائلِ في حالةِ حركةٍ دائمة، على الرغمِ من أنها أكثرُ تقاربًا من جسيماتِ الغازات، وأقلُّ طاقةً حركيةً منها. لذلك، تكونُ قوى التجاذبِ بينَ جسيماتِ السوائلِ أكثرَ تأثيرًا من قوى التجاذبِ بينَ جسيماتِ الغاز. ويرجعُ هذا التجاذبُ بينَ جسيماتِ السائل إلى قوى التجاذبِ البينيةِ التي تمَّتْ مناقشتُها في الصفِّ العاشر، وهي القوى ثنائيةُ القطب–ثنائية القطب، وقوى تشتُّتِ لندنَ والروابطِ الهيدروجينية.

والسوائلُ أكثرُ انتظامًا من الغازات، لأن قوى التجاذب بين جسيماتِ السائلِ أكبرُ وحركتَها أبطأ. ووفقًا لنظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ للسوائل، تكونُ هذه الجسيماتُ غيرَ مقيّدةٍ بمواقعَ ثابتةٍ، بل تتحرَّكُ بشكلٍ مستمر. تفسِّرُ حركةُ الجسيماتِ هذه سببَ تسميةِ كلٍّ من الغازاتِ والسوائلِ بالموائع. والمائع **fluid** ***هو المادةُ المنسابةُ التي تأخذُ شكلَ الإناءِ الذي يحتوي عليها***. تنسابُ معظمُ السوائلِ إلى أسفلَ طبيعيًّا، بسببِ تأثيرِ الجاذبيةِ الأرضية. إلا أن بعضَها الآخرَ ينسابُ في اتجاهاتٍ أخرى. فالهيليوم المسالُ عندَ درجةِ تقاربُ الصفرَ المطلق، مثلاً، يتَّصفُ بميزةٍ شاذّة، هي قدرتُه على الانسيابِ إلى أعلى، وليسَ إلى أسفل.

كثافةٌ عاليةٌ نسبيًّا

تحتَ الضغطِ الجوّيِّ الاعتيادي، تكونُ السوائلُ أكثرَ كثافةً من الغازاتِ بآلافِ المرّات. وسببُ هذا الارتفاعِ في كثافةِ السوائلِ هو تَقاربُ جسيماتِها. لكنَّ كثافةَ معظمِ السوائلِ أقلُّ (حوالي 10%) من كثافةِ الموادِّ الصلبة. ويتميّزُ الماءُ بأنه من الموادِّ القليلةِ التي تصبحُ أقلَّ كثافةً لدى تصلُّبِها، كما ستدرسُ لاحقًا (القسم 6-4).

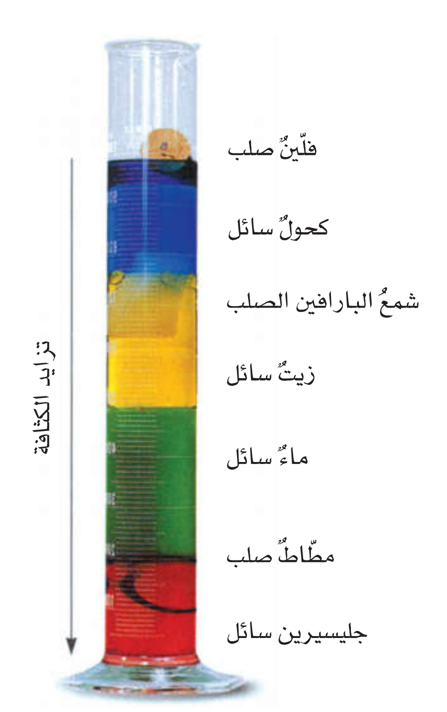
وعند درجةِ حرارةٍ وضغطٍ ثابتين، تتباينُ السوائلُ المختلفةُ في كثافاتِها. ويبيّنُ الشكلُ 6-1 كثافاتٍ مختلفةً لبعضِ السوائلِ والموادِّ الصلبة، حتى أن السوائلَ تكوِّنُ طبقاتٍ منفصلةً بعضُها عن بعض.

اللاانضغاطية النسبية

عندما يُرفَعُ ضغطُ سائلٍ، عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة، إلى 1000 atm يقلُّ حجمُهُ بمقدار 4%. وينطبقُ هذا على السوائلِ كلِّها وعلى الموادِّ الصلبة. لكن الغازَ على العكسِ من ذلك، فحجمُهُ تحتَ ضغط 1000 atm يصبحُ 1/1000 من حجمِه الأصليِّ تحتَ الضغطِ الجوّيِّ الاعتيادي. والسوائلُ إذن أقلُّ انضغاطيّةً من الغازاتِ، وسببُ ذلك هو أن جسيماتِ السائلِ متراصَّةٌ أكثرَ من جسيماتِ الغاز. يضافُ إلى ذلك أن للسوائلِ القدرةَ على نقلِ الضغطِ إلى جميعِ الجهاتِ بصورةٍ متساوية.

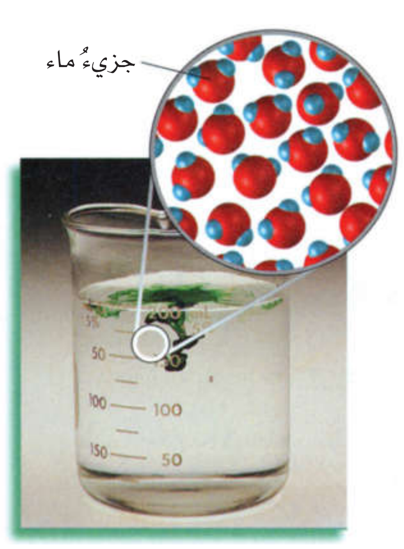
قابليةُ الانتشار

ذُكِرَ في الفصل 4 أن الغازاتِ تنتشرُ وتختلطُ مع جسيماتِ بقيةِ الغازات. كذلك تنتشرُ جسيماتُ السوائلِ وتختلطُ مع جسيماتِ السوائلِ الأخرى، كما يظهرُ في الشكل 6-2. وإن أيَّ سائلٍ ينتشرُ تدريجيًا خلالَ سائلٍ آخرَ يمكنُ أن يذوبَ فيه. يحصلُ الانتشارُ في السوائلِ بسببِ حركةِ الجسيماتِ العشوائية، كما هي حالُ الغازات. إلاّ أن الانتشارَ في السوائلِ أبطأُ من الانتشارِ في الغازاتِ، وذلك لتقاربِ جسيماتِ السائلِ، ولوجودِ قوى تجاذبٍ بينَ جسيماتِهِ تعوِّقُ حركتَها. لكن كلما ازدادَتْ درجةُ حرارةِ السائلِ يزدادُ انتشارُه، لأن ذلك يزيدُ من معدَّلِ الطاقةِ الحركيّةِ للجزيئاتِ ومعدَّلِ سرعتِها.

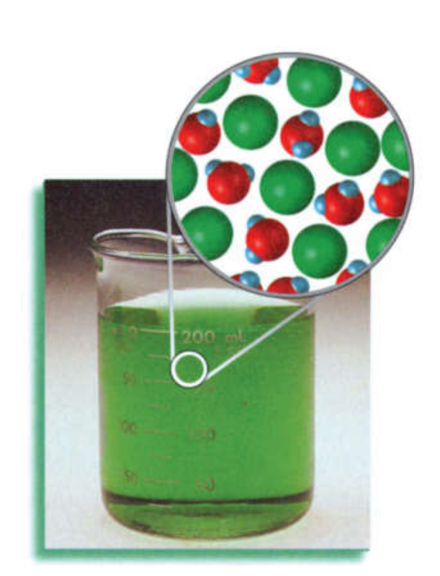


الشكل 6-1 يُظهرُ الشكلُ سوائلَ وموادَّ صلبةً ذاتَ كثافاتٍ مختلفة. السوائلُ الأكثرُ كثافةً في الأسفل، والأقلُّ كثافةً في الأعلى. (أضيفَتْ إلى السوائلِ أصباغٌ لجعلِ الطبقاتِ أكثرَ وضوحًا.)

الشكل 6-2 كما هي حالُ الغازاتِ ينتشرُ السائلانِ، المبيّنانِ في هذا الشكل، مع مرورِ الوقت. فقطرةُ الحبرِ الخضراءُ تنتشرُ في الماءِ حتى تجعلَ منه محلولاً متجانسَ اللون.



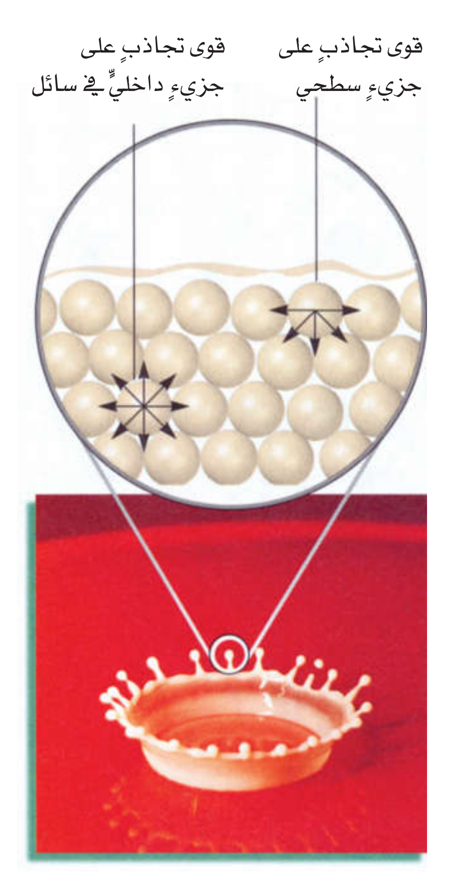




التوتُّرُ السطحي

التوتُّرُ السطحي surface tension *قوةٌ تميلُ إلى شدِّ أجزاءٍ من سطحِ السائلِ بعضِها إلى بعض، لتقلّصَ مساحةَ السطحِ إلى أقلِّ مقدارٍ ممكن.* وهو خاصيةٌ شائعةٌ في جميعِ السوائل. ينتجُ التوتُّرُ السطحيُّ من قوى التجاذبِ بينَ جسيماتِ السائل. فكلَّما زادَتْ قوى التجاذبِ هذه زادَ التوتُّرُ السطحي. والماءُ ذو قوّةِ توتُّرٍ سطحيٍّ هي العليا بينَ معظمِ السوائل. والسببُ هو الروابطُ الهيدروجينيةُ التي تكوِّنُها جزيئاتُ الماءِ فيما بينها. لكنَّ جزيئاتِ الماءِ الواقعة على سطحِ الماء، والمرتبطة بروابطَ هيدروجينية مع جزيئاتِ الماءِ المحيطةِ بها، لا ترتبطُ مع جزيئاتِ الهواءِ فوقها. نتيجةً لذلك تنسحبُ جزيئاتُ الماءِ السطحيةُ نحوَ بعضِها وإلى الداخل، مكوِّنةً توتُّرًا سطحيًّا عاليًا. لهذا السببِ تأخذُ قطراتُ الماءِ شكلاً كرويًّا، حيث مساحةُ الشكلِ الكرويِّ أقلُّ من سواها بالنسبةِ إلى حجمٍ معيَّن. والشكل 6-3 يوضحُ مثالاً لهذه الظاهرة.

والخاصّيةُ الشعرية capillary action *يُقصدُ بها انجذابُ سطحِ سائلٍ إلى سطحِ مادةٍ صلبة.* وهي ظاهرةٌ وثيقةُ الصلةِ بظاهرةِ التوتُّرِ السطحي. فالسائلُ يرتفعُ في الأنابيبِ الرفيعةِ جدًّا عندَما يكونُ التجاذبُ قويًّا بينَ جزيئاتِهِ وجزيئاتِ سطحِ الأنبوب. يعملُ هذا التجاذبُ على سحبِ جزيئاتِ السائلِ إلى أعلى، بعكسِ تأثيرِ جاذبيةِ الأرض. وتستمرُّ هذه الحالةُ حتى يتوازنَ هذا التجاذبُ مع وزنِ السائل. وتحدثُ الخاصّيةُ الشعريةُ بين جزيئاتِ الماءِ وأليافِ الورق، كما هو مُبيَّنٌ في الشكل 6-4. وينسبُ للخاصّيةِ الشعريةِ أيضًا، ولو جزئيًّا، عمليةُ انتقالِ الماءِ من جذورِ النباتاتِ إلى أوراقِها. وهذه الظاهرةُ هي السببُ، كذلك، في تقعُّرِ سطحِ السائل meniscus الذي يتكوَّنُ في أنابيبِ الاختبارِ أو المخابيرِ المدرَّجة.



الشكل 6-3 نتيجةً للتوتُّرِ السطحي، تكوِّنُ السوائلُ قطراتٍ كرويةَ الشكل.

التبخيرُ والغليان

عمليةُ تحويلِ السائلِ أو الصلبِ إلى غازٍ تسمّى التبخير* vaporization. *أما التبخُّرُ* evaporation *فهو العمليةُ التي تفلتُ فيها جسيماتٌ من سطحِ السائلِ قبلَ الغليانِ لتدخلَ الحالةَ الغازيّة.



(أ)



(ب)

الشكل 6-4 التجاذبُ بينَ جزيئاتِ الماءِ القطبيةِ وجزيئاتِ السليلوزِ القطبية، في أليافِ الورق، يسبِّبُ اندفاعَ الماءِ إلى أعلى في الورقة. كذلك، الحبرُ القابلُ للذوبانِ في الماء، الموضوعُ في أسفلِ الورقةِ في (أ)، يرتفعُ مع الماءِ كما هو مبيَّن في (ب). وعندَ ارتفاعِ الحبرِ في الورقةِ تنفصلُ مكوِّناته إلى حزمٍ ملوَّنة. سببُ انفصالِ المكوِّناتِ هو أن كلاًّ من الماءِ والورقِ يجذبُ جزيئاتِ مكوِّناتِ الحبرِ بشكلٍ مختلف. تُستخدمُ هذه الظاهرةُ في عملياتِ الفصلِ الكيميائي (الكروماتوغراف الورقي) المبيَّنةِ في هذا الشكل.

عند وضع كميةٍ صغيرةٍ من سائلِ البروم في قنينة، كما في الشكل 6-5، يتحوّلُ الهواءُ فوق سائلِ البروم في بضعِ دقائقَ إلى اللونِ البنيِّ المحمرّ. وسببُ ذلك أن بعضَ جزيئاتِ البروم تفلتُ من سطحِ السائلِ فتنتقلُ إلى الحالةِ الغازية، أي تتحوّلُ إلى بخارِ البروم الذي يمتزجُ بالهواء. والظاهرةُ نفسُها تتكررُ عندما ترشُّ راحةَ يدِك بالعطر. فإنك ستجدُ خلال بضعِ ثوانٍ أنك قادرٌ على شمِّ رائحتِه. والسببُ هو أن جزيئاتِ العطرِ تتبخرُ من الجلدِ وتنتشرُ في الهواء، فتلتقطُها خلايا الشمِّ في أنفِك.

يحدثُ التبخرُ لأن جسيماتِ السائلِ ذاتُ طاقاتٍ حركيةٍ مختلفة، والجسيماتُ ذات الطاقةِ الأعلى تتحركُ أسرعَ من غيرِها. والجسيماتُ السطحيةُ ذاتُ الطاقةِ الحركيةِ الأكبرِ تتغلبُ على القوى البينيةِ التي تربطُها بالسائلِ وتفلتُ إلى الحالةِ الغازية.

يُعدُّ التبخرُ من الظواهرِ المهمةِ في الطبيعة. فالتبخرُ يُزيلُ الماءَ العذبَ من سطوحِ البحارِ والمحيطاتِ تاركًا وراءهُ تركيزًا عاليًا من الأملاح. وفي المناطقِ شبهِ الاستوائيةِ يحدثُ التبخرُ بمعدلاتٍ عالية، فيسببُ زيادةَ الملوحةِ للمياهِ السطحية. جميعُ المياهِ التي تتساقطُ على الأرضِ بشكلِ أمطارٍ وثلوجٍ هي في الأصلِ مياهٌ متبخرةٌ من المحيطاتِ والبحيراتِ والأنهار. وتبخرُ العرقِ من الجلدِ يلعبُ دورًا مهمًّا في تبريدِ الجسم. فالعرقُ المكوّنُ من الماءِ أساسًا يبرِّدُ الجسمَ لدى امتصاصِهِ حرارةَ الجسمِ عند التبخر. فامتصاصُ الطاقةِ الحراريةِ من الجلدِ يخفضُ من حرارتِه.

والغليانُ هو عمليةُ تحوُّلِ السائلِ إلى فقاقيعِ بخارٍ تظهرُ واضحةً في السائل. ويختلفُ الغليانُ عن التبخر، كما سترى في القسم 6-3.

تكوينُ الموادِّ الصُّلبة

عند تبريدِ السائلِ يقلُّ معدلُ طاقةِ حركةِ جسيماتِه. وعندما تصبحُ هذه الطاقةُ قليلةً جدًّا، تترتبُ جسيماتُ السائل، بسببِ قوى التجاذبِ فيما بينها، في حالةٍ أكثرَ انتظامًا فتتحوّلُ المادةُ إلى الحالةِ الصُّلبة. ***الظاهرةُ التي يتحولُ فيها السائلُ فيزيائيًا إلى مادة صلبة عند تبريده، تسمّى التجمُّد*** **freezing**. ومن الأمثلةِ الشائعةِ على التجمُّدِ تحوُّلُ الماءِ إلى الثلجِ عند درجةِ الحرارة 0°C. ويوجدُ مثالٌ شائعٌ آخر هو تصلُّبُ البارافين عند درجةِ حرارةِ الغرفة. إن جميعَ السوائلِ تتجمَّد، لكن بدرجاتِ حرارةٍ مختلفة. فالإيثانول يتجمَّدُ عند درجةِ الحرارة −115°C في حين يتجمدُ الزئبقُ عند درجةِ الحرارة −38°C.

جزيءُ بروم متبخّرٌ $Br_2(g)$ منتشرٌ في الهواء
جزيءُ أكسجين $O_2(g)$
جزيءُ نيتروجين $N_2(g)$
جزيءُ بروم سائل $Br_2(l)$

الشكل 6-5 سائلُ بروم Br_2 يتبخَّرُ عندَ درجة قريبة من درجة حرارةِ الغرفة. ينتشرُ الغازُ البنّيُّ المحمرُّ في الهواء، فوقَ سطحِ السائل.

مراجعةُ القسم 6-1

1. صفْ حالةَ السيولةِ من خلالِ فهمِك لنظريةِ الحركةِ الجزيئية.
2. اذكرْ خصائصَ السوائل.
3. كيف تفسِّرُ نظريةُ الحركةِ الجزيئيةِ الخصائصَ التاليةَ للسوائل: (أ) الكثافةَ العالية، (ب) قابليةَ الانتشار، (ج) قابليةَ التبخُّر؟
4. اشرحْ سببَ تكوُّنِ سطحٍ مقعَّرٍ في أنبوبةِ اختبار.
5. قارنْ بينَ التبخيرِ والتبخُّر.

المواد الصلبة

القسم 2-6

مؤشّرات الأداء

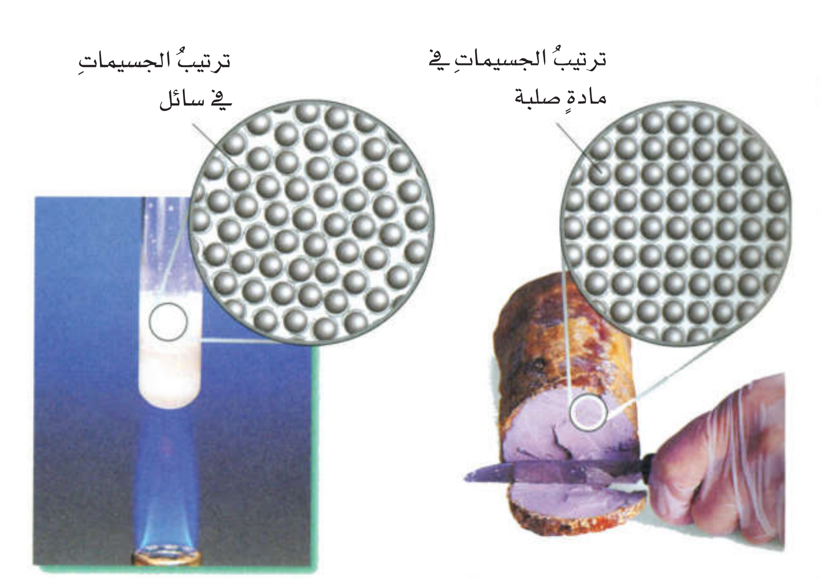
- يصفُ حركةَ الجسيماتِ في الموادِّ الصلبةِ وخصائصَ هذه المواد وفقًا لنظريةِ الحركةِ الجزيئية.
- يميِّزُ بينَ نوعَين من الموادِّ الصلبة.
- يصفُ أنواعَ التماثلِ البلّوريِّ المختلفة، ويعرِّفُ التركيبَ البلوريَّ ووحدةَ الخلية.

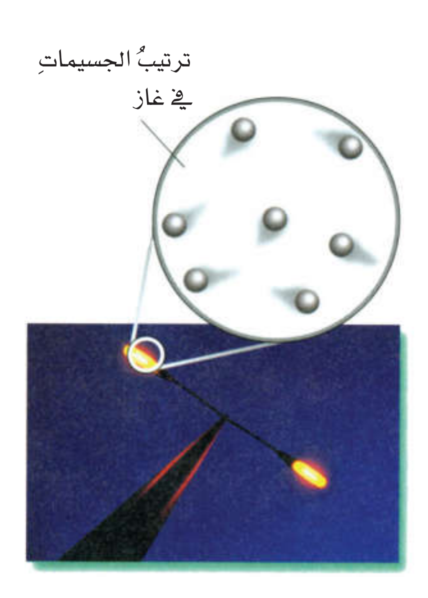
«صلبٌ كالصخر» تعبيرٌ شائعٌ يصفُ شيئًا قاسيًا لا يلين، وله شكلٌ وحجمٌ ثابتان. في هذا القسم، ستتعرَّفُ خصائصَ الموادِّ الصلبة، وتقارنُها بخصائص كلٍّ من السوائلِ والغازات. وسيتمُّ تفسيرُ خصائصِ الموادِّ الصلبة، كما بقيةُ حالاتِ المادة، على أساسِ نظريةِ الحركةِ الجزيئية.

خصائصُ الموادِّ الصلبة ونظريةُ الحركةِ الجزيئية

جسيماتُ المادةِ الصلبةِ أكثرُ تراصًّا من جسيماتِ السائلِ أو الغاز. لذلك تكونُ القوى البينيةُ في جسيماتِ المادةِ الصلبةِ أكثرَ تأثيرًا من غيرِها. فقوى التجاذب ثنائيةُ القطبِ-ثنائيةُ القطب، وقوى تشتُّتِ لندن، والترابطُ الهيدروجينيُّ، لها تأثيراتٌ في المادةِ الصلبة أكثرُ من تأثيراتِها في السوائلِ والغازات. تميلُ هذه القوى إلى ربطِ تلك الجسيماتِ في مواقعِها بشكلٍ ثابت، غير أنها تظلُّ تتحرَّكُ حركةً اهتزازيةً حولَ نقاطٍ معيّنةٍ فقط. ولمّا كانَتْ حركةُ الجسيماتِ مقيَّدةً بهذهِ الطريقة، فإنَّ الموادَّ الصلبةَ تكونُ أكثرَ انتظامًا من السوائلِ، وأكثر انتظامًا بكثيرٍ من الغازات. تأمَّلِ الشكل 6-6.

الشكل 6-6 جسيماتُ الصوديوم في الحالاتِ الثلاث. يوجدُ الصوديوم في الحالةِ الغازيَّةِ في مصباحِ بخارِ الصوديوم.





يوجدُ نوعانِ من الموادِّ الصلبة: الموادُّ الصلبةُ البلّوريةُ، والموادُّ الصلبةُ اللابلّورية. **معظمُ الموادِّ الصلبةِ بلّوريةٌ crystaline solids، *فهي تتكوَّنُ من بلّورات.* والبلّورةُ crystal *مادةٌ تترتَّبُ فيها الجسيماتُ بشكلٍ هندسيٍّ منتظمٍ متكرِّر.* والمادةُ الصلبةُ اللابلوريةُ amorphous solid *هي المادةُ التي تترتَّبُ فيها الجسيماتُ بشكلٍ عشوائيٍّ غيرِ منتظم، كالزجاجِ والبلاستيك.*** كلا النوعَين من الموادِّ الصلبةِ سيُناقشُ لاحقًا.

شكلٌ وحجمٌ محدَّدان

على عكسِ الموادِّ السائلةِ والغازيَّة، تحافظُ الموادُّ الصلبةُ على شكلٍ محدَّد. بالإضافةِ إلى ذلك، الموادُّ الصلبةُ البلّوريةُ منتظمةٌ هندسيًّا. وحتى شظاياها تتَّخذُ أشكالاً هندسيةً منتظمةً تعكسُ تركيبَها الداخليَّ المنتظم. وتحافظُ الموادُّ الصلبةُ اللابلّوريةُ على شكلٍ ثابت، إلا أن شكلَها يختلفُ عن الشكلِ الهندسيِّ المتميِّزِ للموادِّ البلّورية. فعلى سبيلِ المثال، يمكنُ تشكيلُ الزجاجِ بأشكالٍ هندسيةٍ مختلفة، لكن عند تهشُّمِه يتَّخذُ أشكالاً مختلفةً غيرَ منتظمة.

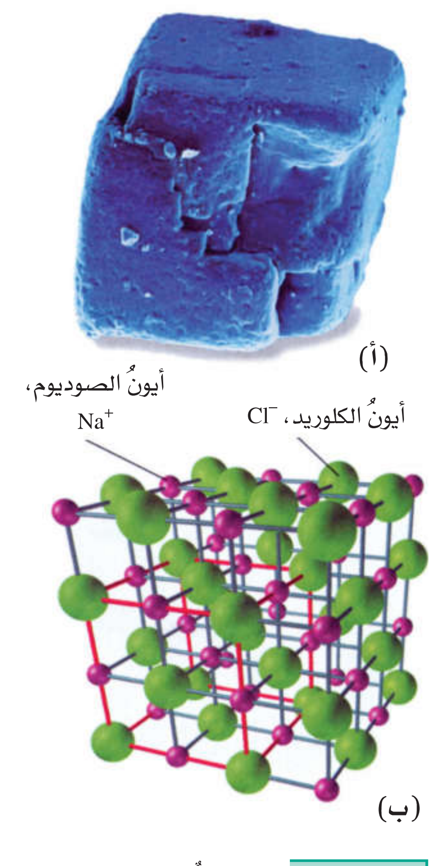
يتغيَّرُ حجمُ المادةِ الصلبةِ قليلاً عندَ تغيُّرِ درجةِ الحرارةِ أو الضغط. لكنَّ الموادَّ الصلبةَ عمومًا ذاتُ حجومٍ ثابتة، لأن جسيماتِها متراصَّةٌ جيدًا، لكن مع وجودِ فراغاتٍ بينيةٍ صغيرةٍ جدًّا، يمكنُ أن تنضغطَ أيضًا. والموادُّ الصلبةُ البلّوريةُ لا تنسابُ عادةً، لأن جسيماتِها مترابطةٌ فيما بينها في مواقعَ ثابتة.

درجةُ انصهارٍ محدَّدة

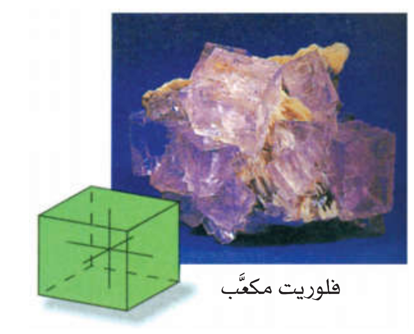
الانصهار melting *هو عمليةُ التغيُّرِ الفيزيائي للمادة، بالحرارة، من حالةِ الصلابةِ إلى السيولة. وتسمَّى درجةُ الحرارةِ التي يصبحُ فيها الصلبُ سائلاً* درجةَ الانصهار melting point. عند هذهِ الدرجةِ تتغلَّبُ الطاقاتُ الحركيةُ لجسيماتِ المادةِ الصلبةِ على قوى الجذبِ التي تربطُ بينَها، فتُفلِتُ من مواقعِها في الموادِّ الصلبةِ البلّوريةِ التي تمتازُ بدرجاتِ انصهارٍ محدَّدَة. وعلى النقيض، لا تمتلكُ الموادُّ الصلبةُ اللابلّوريةُ درجاتِ انصهارٍ محدَّدة، بل تملكُ قابليةَ الانسيابِ ضمنَ مدًى معيَّنٍ من درجاتِ الحرارة. لذلك تصنَّفُ الموادُّ الصلبةُ اللابلّورية، أحيانًا، على أنها **سوائلُ فائقةُ التبريد supercooled liquids. *ويُقصَدُ بذلك جميعُ الموادِّ التي تحتفظُ ببعضِ خصائصِ السوائل، حتى وإن بدَتْ صلبةً عند درجاتِ حرارةٍ معيَّنة.*** وسببُ هذهِ الخاصّيةِ عشوائيَّةُ ترتيبِ الجسيماتِ في المادةِ الصلبةِ اللابلّورية، بما يشبهُ ترتيبَها في السوائل. والفرقُ هنا بينَ السوائلِ الحقيقيةِ والموادِّ الصلبةِ اللابلّورية، هو أن جسيماتِ الموادِّ الصلبةِ اللابلّورية لا تغيِّرُ مواقعَها بشكلٍ دائمٍ، كما يحدثُ في السوائل.

كثافةٌ عاليةٌ ولاانضغاطية

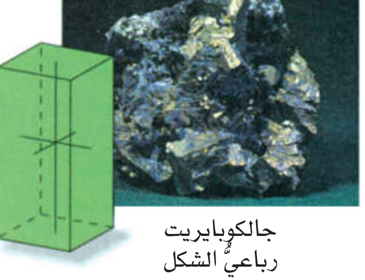
تظهرُ المادةُ في كثافتِها القصوى عندَما تكونُ في حالةِ الصلابة. فالموادُّ الصلبةُ تزيدُ كثافتُها قليلاً عن كثافةِ السوائل، وتزيدُ كثيرًا عن كثافةِ الغازات. سببُ ذلك أن جسيماتِ المادَّةِ الصلبةِ أكثرُ تراصًّا من جسيماتِ كلٍّ من المادةِ السائلةِ والمادةِ الغازيّة. وأقلُّ الموادِّ الصلبةِ كثافةً الهيدروجينُ الصلب، فكثافتُهُ تقاربُ 1/320 من كثافةِ الأوزميوم Os، العنصرِ الأكثفِ بين العناصرِ جميعًا.



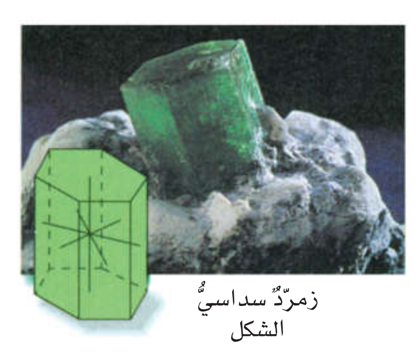
الشكل 7-6 (أ) صورةٌ بالمجهرِ الإلكترونيِّ الماسح (SEM) لبلّورةِ كلوريد الصوديوم. (ب) يمكنُ تمثيلُ البلّورةِ من خلالِ تركيبِها البلّوريِّ المتكوِّنِ من وحداتٍ منفردةٍ ثلاثيةِ الأبعاد، كالخلايا. تظهرُ إحدى الوحداتِ الخلويةِ هنا، وهي مميزةٌ بالأحمر.



فلوريت مكعَّب



جالكوبايريت
رباعيُّ الشكل



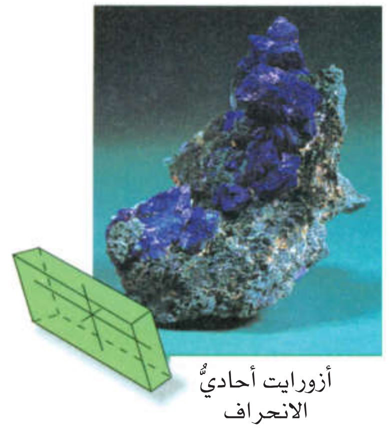
زمرّدٌ سداسيُّ
الشكل



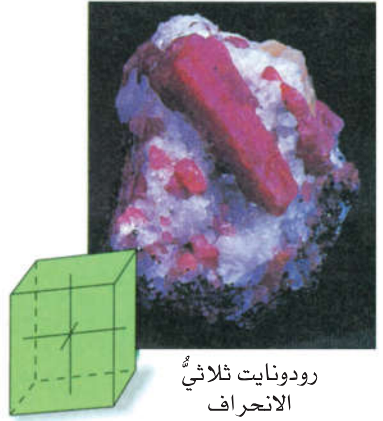
كالسيت ثلاثيُّ
التماثل



أراجونايت معيَّنٌ
متعامد

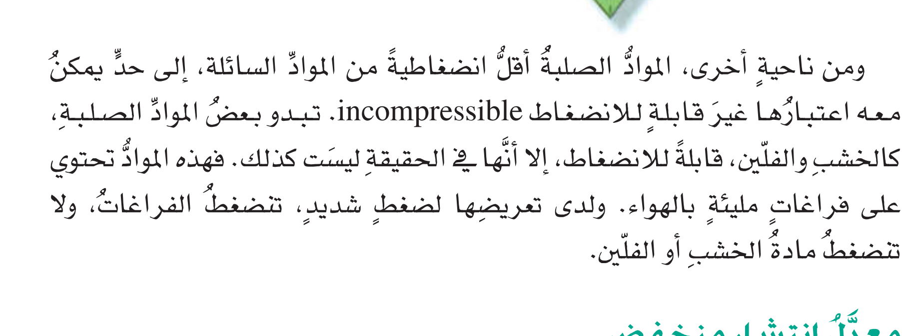


أزورايت أحاديُّ
الانحراف



رودونايت ثلاثيُّ
الانحراف

الشكل 6-8 أنواعُ الأنظمةِ البلّوريةِ السبعة، والمعادنُ الممثِّلةُ لكلٍّ منها.
ملاحظة مهمة: هذه الأشكال والأمثلة للاطلاع فقط.



ومن ناحيةٍ أخرى، الموادُّ الصلبةُ أقلُّ انضغاطيةً من الموادِّ السائلة، إلى حدٍّ يمكنُ معه اعتبارُها غيرَ قابلةٍ للانضغاط incompressible. تبدو بعضُ الموادِّ الصلبةِ، كالخشبِ والفلّين، قابلةً للانضغاط، إلا أنَّها في الحقيقةِ ليسَت كذلك. فهذه الموادُّ تحتوي على فراغاتٍ مليئةٍ بالهواء. ولدى تعريضِها لضغطٍ شديدٍ، تنضغطُ الفراغاتُ، ولا تنضغطُ مادةُ الخشبِ أو الفلّين.

معدَّلُ انتشارٍ منخفض

لدى ربطِ صفيحةِ خارصين بصفيحةِ نحاس، لمدَّةٍ طويلةٍ، تنتشرُ بضعُ ذرّاتٍ من كلٍّ من المادتينِ داخلَ الأخرى. وهذا يبيِّنُ أنَّ الانتشارَ يحصلُ في الموادِّ الصلبة، أو فيما بينَها. إلا أن معدَّلَ هذا الانتشارِ أبطأُ ملايينَ المرّاتِ قياسًا على معدَّلهِ في السوائلِ والغازات.

الموادُّ الصلبةُ البلّورية

تكونُ الموادُّ الصلبةُ البلّوريةُ إما على شكلِ بلّوراتٍ منفردةٍ، أو على شكلِ مجاميعَ بلّوريةٍ متَّحدة. *يسمَّى الترتيبُ الكلّيُّ الثلاثيُّ الأبعادِ لجسيماتِ البلّورة،* **التركيبَ البلّوري crystal structure**. ويمثِّلُ ترتيبُ الجسيماتِ في البلّورةِ بنظامِ ارتباطٍ يسمّى الشبكة lattice. *ويسمَّى الجزءُ الأصغرُ النمطيُّ ثلاثيُّ الأبعادِ من النظامِ الشبكيِّ البلّوريِّ لتلكَ المادّة،* **وحدةَ الخلية unit cell**. تحتوي الشبكةُ البلّوريةُ عادةً على عددٍ من الوحداتِ الخلويةِ المتراصَّةِ بعضُها فوقَ بعض. يظهرُ الشكل 6-7 العلاقةَ بينَ الشبكةِ ووحدةِ الخليةِ المكوَّنةِ منها. وتتَّخذُ البلّورةُ ووحداتُها الخلويةُ، عادةً، نوعًا من سبعةِ أنواعٍ من التماثلِ

الجدول 1-6 درجتا الانصهارِ والغليانِ لأمثلةٍ من الموادِّ الصلبة البلورية

نوعُ المادة	الصيغة	درجةُ الانصهار (°C)	درجةُ الغليان (°C) تحت 1 atm
أيونية	NaCl	801	1413
	MgF_2	1266	2239
تساهميةٌ شبكية	$(SiO_2)_x$	1610	2230
	C_x (ألماس)	3500	3930
فلزّية	Hg	−39	357
	Cu	1083	2567
	Fe	1535	2750
	W	3410	5660
جزيئيةٌ تساهمية (لاقطبية)	H_2	−259	−253
	O_2	−218	−183
	CH_4	−182	−164
	CCl_4	−23	77
	C_6H_6	6	80
جزيئيةٌ تساهمية (قطبية)	NH_3	−78	−33
	H_2O	0	100

الهندسي. هذه الحقيقةُ مكّنتِ العلماءَ من تصنيفِ البلّوراتِ وفقًا لأشكالِها. ويبيِّنُ الشكل 8-6 أشكالاً وأمثلةً على أنواعِ التماثلِ البلّوريِّ السبعة.

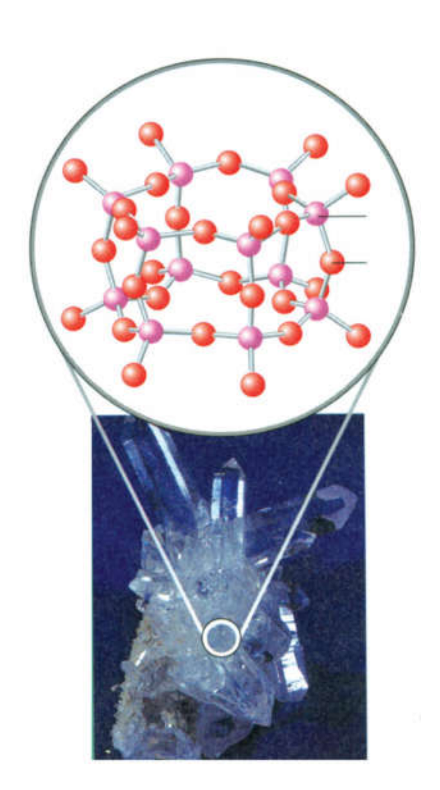
قوى الارتباطِ في البلورات

يمكنُ وصفُ الأشكالِ البلّوريةِ أيضًا تبعًا لأنواعِ الجسيماتِ التي فيها، وتبعًا لأنواعِ الروابطِ الكيميائيةِ بينَ هذه الجسيمات. بحسبِ هذه الطريقةِ التصنيفية، يكونُ هناك أربعةُ أنواعٍ من البلّوراتِ، تظهرُ في الجدول 1-6. ارجعْ إلى هذا الجدول، لدى قراءتِكَ للمناقشةِ التالية:

1. ***البلّوراتُ الأيونية.*** يحتوي تركيبُ البلّورةِ الأيونيةِ على أيوناتٍ سالبةٍ وأخرى موجبة، وهي مرتَّبةٌ ترتيبًا منتظمًا. وتكونُ هذه الأيوناتُ إما أحاديةَ الذرّة وإمّا متعدِّدَةَ الذرّات. وعلى العموم، تتكوَّنُ البلّوراتُ الأيونيةُ لدى اتّحادِ أيوناتٍ متعدِّدةِ الذرّات أو اتحادِ ذرّاتٍ لافلزّيةٍ من المجموعتَين 16 أو 17 مع فلزّاتِ المجموعةِ 1 أو المجموعةِ 2. وتعطي قوى الارتباطِ الشديدِ بينَ الأيوناتِ السالبةِ والأيوناتِ الموجبة، في التركيبِ البلّوريِّ للبلّورات الأيونية، خصائصَ معيَّنة، منها أن هذه البلّوراتِ تكونُ صلدةً وسريعةَ الكسر، ولها درجاتُ انصهارٍ عالية. كما أنّها تُعدُّ موادَّ جيدةَ العزل.
2. ***البلّوراتُ التساهميةُ الشبكية.*** تحتوي هذه البلّوراتُ على ذرّاتٍ مرتبطةٍ بروابطَ تساهمية. يمتدُّ هذا الترابطُ خلالَ الشبكةِ التي تحتوي على عددٍ كبيرٍ من الذرّات. من هذه البلّورات الماس C_x، والكوارتز $(SiO_2)_x$ الموضّحُ في الشكل 9-6، وكربيدُ السليكون $(SiC)_x$، وأكاسيدُ متعدِّدةٌ للعناصر الانتقالية. وتكونُ هذه الموادُّ جزيئاتٍ عملاقةً في الأساس. يشيرُ الرقمُ السفلي x في هذه الصيَغِ إلى أن المادةَ التي بينَ القوسَين تمتدُّ إلى ما لا نهاية. وغالبًا ما تكونُ الموادُّ الصلبةُ الشبكيةُ صلدةً جدًّا وسريعةَ الكسر، ولها درجاتُ انصهارٍ عالية، وتكونُ عادةً غيرَ موصِّلةٍ أو شبهَ موصِّلة.

3. ***البلّورات الفلزية.*** يحتوي التركيبُ البلوريُّ الفِلزِّيُّ على ذرّاتِ فِلزٍّ محاطةٍ ببحرٍ من الكتروناتِ التكافؤ. مصدرُ هذه الإلكتروناتِ ذرّاتُ الفلز، وهي تعودُ إلى البلّورةِ ككل. وتفسِّرُ حريةُ حركةِ الإلكتروناتِ الخارجيةِ على كاملِ البلّورةِ درجةَ التوصيلِ الكهربائيِّ العاليةِ لهذه الفلزّات. ومما يُلاحظُ من الجدول 6-1 أن درجاتِ انصهارِ البلّوراتِ الفلزّيةِ المختلفة تتباينُ بشكلٍ كبير.

4. ***البلّوراتُ الجزيئيةُ التساهمية.*** يحتوي التركيبُ البلّوريُّ للموادِّ الجزيئيةِ التساهميةِ على جزيئاتٍ تساهميةٍ مترابطةٍ بواسطةِ قوًى بينية. فإذا كانَتِ الجزيئاتُ غيرَ قطبية، كجزيئاتِ الهيدروجين H_2 أو الميثان CH_4 أو البنزين C_6H_6، لا يكونُ بينَها إلا قوى تشتتِ لندنَ الضعيفة. أما البلّوراتُ الجزيئيةُ التساهميةُ القطبيةُ، كما في جزيئاتِ الماء H_2O والأمونيا NH_3، فتكونُ الجزيئاتُ فيها مترابطةً بقوًى ثنائيةِ القطب–ثنائيةِ القطب قويةٍ نوعًا ما، وأحيانًا بروابطَ هيدروجينيةٍ قوية. وتكونُ القوى التي تربطُ بين الجزيئاتِ القطبيةِ أو غيرِ القطبيةِ في التركيبِ البلّوري أضعفَ من الروابطِ التساهميةِ الكيميائيةِ بينَ الذرّاتِ في الجزيءِ الواحد. لذلك تكونُ للبلّوراتِ الجزيئيةِ التساهميةِ درجاتُ انصهارٍ منخفضة، ما يجعلُها سهلةَ التبخير، إضافةً إلى كونِها هشّةً، وتشكّلُ عوازلَ جيدة. من أهمِّ الأمثلةِ على البلّورات الجزيئيةِ التساهمية بلّورةُ الثلج، التي ستُناقشُ بالتفصيلِ لاحقًا.



الشكل 9-6 بلّورةٌ تساهميةٌ شبكية، تتضمَّنُ شبكةً من موادَّ صلبةٍ ثلاثيةِ الأبعاد. من الأمثلةِ عليها الكوارتز $(SiO_2)_x$ الذي يظهرُ في هذا الشكلِ بتركيبِه الذريِّ الثلاثيِّ الأبعاد.

الموادُّ الصلبةُ اللابلّورية

اشتُقَّ المصطلحُ لابلوريّ من اللفظِ اللاتيني amorphous، ويعني «لا شكل له». وهذه الموادُّ، على عكس الموادِّ الصلبةِ البلّورية، ليس لها شكلٌ منتظمٌ في الطبيعة.

تظلُّ هذه الموادُّ متماسكةَ الشكل وقتًا طويلاً. إلا أن بعضَها يميلُ إلى الانسياب، لكن ببطءٍ شديد. ففي بعضِ زجاجِ النوافذِ القديمة يبدو الزجاجُ أكثرَ سماكةً في أسفلِ النافذةِ منه في أعلاها، مما يشيرُ إلى أن الزجاجَ قد انسابَ إلى أسفلَ بمرورِ الزمن. ويشكِّلُ الزجاجُ مجموعَةً متميزةً من الموادِّ الصلبةِ اللابلّورية. فهو يُصنعُ بتبريدِ موادَّ منصهرةٍ، لكن بطريقةٍ لا تتمُّ فيها بلورتُه، بل بإبقائهِ في حالةٍ لابلّورية.

وهناك مئاتُ الأنواعِ من الزجاجِ والبلاستيك، لكلٍّ منها آلافُ التطبيقاتِ المهمَّة. فالزجاجُ يُستخدمُ في كلِّ شيءٍ تقريبًا، من هياكلِ المركباتِ المصنوعةِ من أليافِ الزجاجِ إلى الألياف البصرية التي تستخدمُ الضوءَ في نقلِ المكالماتِ الهاتفية.

مراجعةُ القسم 6-2

1. صفِ الحالةَ الصلبةَ وفقًا لنظريةِ الحركةِ الجزيئية.
2. ما الفرقُ بينَ المادةِ الصلبةِ اللابلّورية والمادةِ الصلبةِ البلّورية؟
3. اشرحِ الخصائصَ التاليةَ للمادةِ الصلبة: (أ) الحجمَ المحدَّد، (ب) الكثافةَ العاليةَ نسبيًّا للموادِّ الصلبة، (ج) معدَّلَ الانتشارِ البطيءِ جدًّا.
4. قارنْ بينَ الأنواعِ الأربعةِ للبلّورات.

القســـم 3-6

مؤشراتُ الأداء

- يوضحُ العلاقةَ بين الاتِّزانِ وتغيرُّاتِ الحالةِ الفيزيائيةِ للمادة.
- يتنبأُ بالتغيُّرِ في الاتِّزانِ، موظِّفًا مبدأ لو شاتيليه.
- يوضحُ المقصودَ بالضغطِ البخاري.
- يصفُ عملياتِ الغليانِ والتجمُّدِ والانصهار.

تغيُّر الحالة

تكونُ المادةُ في الطبيعةِ في إحدى الحالاتِ الثلاثِ التالية: الصلابة، السيولة، الغازية. ويمكنُ للمادةِ أن تتغيَّرَ من حالةٍ إلى أخرى. يُظهرُ الجدول 6-2 التغيُّراتِ المحتملةَ في حالةِ المادة. في هذا القسمِ سنناقشُ تلك التغيُّراتِ، ونتعرَّفُ العواملَ التي تحدِّدُها.

الاتِّزان

الاتِّـزانُ equilibrium ***حالةٌ ديناميكيةٌ يحصلُ فيها، بمعدلينِ متساويينِ، تغيُّرانِ متعاكسانِ ضمنَ نظامٍ مغلق.*** هذا النظامُ لا يمكنُ للمادةِ أن تدخلَ إليه أو تخرجَ منه. لكنَّ الطاقةَ يمكنُها أن تفعلَ ذلك.

يمكنُ تمثيلُ حالةِ الاتِّزانِ الديناميكيِّ بمسبحٍ عامٍّ في يومٍ صيفي. في الصباحِ يكونُ عددُ السابحينَ القادمينَ أكثرَ من عددِ مغادري المسبح، فيزدادُ المسبحُ ازدحامًا باستمرار، أي إن النظامَ لا يكونُ متَّزنًا. وعندَما يصبحُ عددُ الداخلينَ إلى المسبحِ في منتصفِ النهارِ مُساويًا لمُغادريه، يبقى عددُ الموجودينَ في المسبحِ ثابتًا، على الرغمِ من حركةِ الدخولِ والخروجِ، أي إن النظامَ يبقى متَّزنًا.

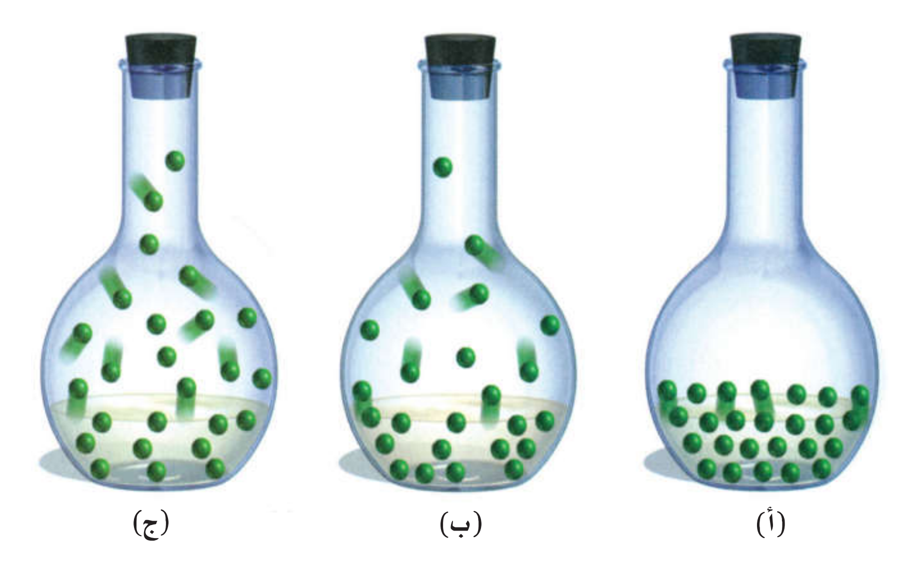
الاتِّزانُ مفهومٌ كيميائيٌّ فائقُ الأهمّية. وستتعلَّمُهُ في هذا الفصلِ مقرونًا بتغيُّراتِ حالةِ المادة، ولاحقًا مُرتبطًا بالتفاعلاتِ الكيميائية.

الاتِّزانُ وتغيُّراتُ الحالة

خذْ مثالاً حالةَ تبخُّرِ الماءِ في إناءٍ مغلقٍ مُفرغٍ من الهواء، كما في الشكل 6-10.

الجدول 6-2 تغيُّراتُ الحالةِ المحتملة

تغيُّرُ الحالة	العملية	مثال
صلبة ← سائلة	انصهار	ثلج ← ماء
صلبة ← غازيّة	تصعيد (تسامٍ)	ثلجٌ جافّ ← غاز CO_2
سائلة ← صلبة	تجمُّد	ماء ← ثلج
سائلة ← غازية	تبخير	بروم سائل ← بخار بروم
غازيّة ← سائلة	تكثُّف	بخار ماء ← ماء
غازيّة ← صلبة	تكثُّفٌ ترسيبي	بخار ماء ← ثلج



الشكل 6-10 حالةُ الاتّزانِ (سائل–بخار) في نظامٍ مغلق. (أ) في البدايةِ يوجدُ السائلُ فقط، لكن الجزيئاتِ تبدأُ بالتبخُّر. (ب) يستمرُّ التبخرُ بمعدّلٍ ثابت، ثم تأخذُ بعضُ الجزيئاتِ بالتكثُّفِ إلى سائل. (ج) عندما يصبحُ معدَّلُ التبخُّرِ مساويًا لمعدَّلِ التكثُّفِ تحصلُ حالةُ الاتزان.

إذا ازدادتْ طاقةُ جزيئاتِ الماءِ على السطحِ ارتفاعًا يكفي للتغلُّبِ على قوى جذبِ الجزيئاتِ المجاورةِ لها، فإنَّها تتبخَّر. أي تتركُ حالةَ السيولة، وتسلكُ كأنها جزيئاتُ غاز. بعضُ جزيئاتِ البخارِ تعودُ إلى سطحِ السائل، فتتكثَّفُ وتعودُ إلى حالةِ السيولة. **التكثُّف condensation** ***هو العمليةُ التي يتحوَّلُ فيها الغازُ إلى سائل.***

إذا بقيَتْ درجةُ حرارةِ السائلِ ومساحةُ سطحهِ ثابتتَين، يبقى معدَّلُ تبخُّرِ جزيئاتِ السائلِ ثابتًا. إن معدَّلَ تحوُّلِ جزيئاتِ الماءِ من الحالةِ الغازيّة (البخار) إلى الحالةِ السائلة (الماء) يعتمدُ على تركيزِ الجزيئاتِ في الحالةِ الغازيّة. في البدايةِ، يكونُ تركيزُ هذه الجزيئاتِ، ومعدَّلُ تكثُّفِها، صفرًا، كما هو مبيّنٌ في الشكل 6-10 (أ). وبمرورِ الوقت، واستمرارِ عملية التبخُّرِ، يزدادُ تركيزُ جزيئاتِ البخار. فتؤدّي تلك الزيادةُ إلى زيادةِ معدَّلِ التكثُّف، لكن هذا المعدّلَ باقٍ أقلَّ من معدَّل التبخّر، الشكل 6-10 (ب). وفي مرحلةٍ لاحقة، يزدادُ تركيزُ جزيئاتِ البخار إلى درجةٍ يصبحُ فيها معدّلُ التبخُّرِ مساويًا لمعدَّلِ التكثُّف، الشكل 6-10 (ج). عندئذٍ تحصلُ حالةُ الاتِّزان، وتبقى كمّيتا السائلِ والغازِ ثابتتَين.

معادلةُ الاتِّزان

كلُّ سائلٍ يتحوَّلُ إلى بخارٍ إذا امتصَّ طاقةً حراريةً كافية، ويصبحُ في حالةِ اتزانٍ مع بخارِه. لنأخذِ الماءَ مثالاً لتوضيحِ حالةِ الاتِّزان، إذ يتحوَّلُ الماءُ السائلُ إلى بخارٍ عند امتصاصِهِ حرارةً من محيطِه. لذلك يمكنُ التعبيرُ عن التبخُّرِ بالمعادلةِ التالية:

$$H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \longrightarrow H_2O(g)$$

وعندَما يتكثَّفُ البخار تنبعثُ منه إلى المحيطِ طاقةٌ حرارية. لذلك يمكنُ التعبيرُ عن التكثُّفِ بالمعادلةِ التالية:

$$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l) + \text{طاقة حرارية}$$

ويعبَّرُ عن الاتِّزان (سائل-بخار) بالمعادلة التالية:

$$H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$$

تمثِّلُ العلامة $\rightleftarrows$ في المعادلةِ السابقة تغيُّرًا انعكاسيًّا. هذا يعني أن التغيُّرَ يمكنُ أن يتمَّ في كلا الاتِّجاهين. إذ يُقرأُ التغيُّرُ الأماميُّ من اليسارِ إلى اليمينِ كالتالي:

$$H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightarrow H_2O(g)$$

ويُقرأُ التغيُّرُ العكسيُّ من اليسارِ إلى اليمينِ كالتالي:

$$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l) + \text{طاقة حرارية}$$

مبدأ لو شاتيلييه

يبقى النظامُ في حالةِ اتزان، ما لم يحدثْ شيءٌ يغيِّرُ من تلك الحالة. ومن المهمِّ فهمُ العواملِ المستخدمةِ للسيطرةِ على حالةِ الاتِّزانِ في النظام. في عام 1888، طوَّرَ الكيميائيُّ الفرنسي هنري لويس لو شاتيلييه مبدأً لتوقُّعِ التالي: كيف يؤثِّرُ تغيُّرُ عاملٍ ما على حالةِ الاتِّزانِ في النظام. يمكنُ صياغةُ **مبدأ لو شاتيلييه Le Châtelier's principle** هكذا: ***عندَما يضطربُ نظامٌ في حالةِ اتِّزانٍ نتيجةَ عاملٍ مؤثِّرٍ يتَّخذُ هذا النظامُ حالةَ اتِّزانٍ جديدةً تقلِّلُ من أثرِ ذلك العاملِ إلى الحدِّ الأدنى.*** قد يكونُ العاملُ المؤثِّرُ تغيُّرًا في التركيزِ أو الضغطِ أو الحرارة.

الاتِّزانُ ودرجةُ الحرارة

يمكنُ استخدامُ مبدأ لو شاتيلييه لتوقُّعِ كيفيةِ تغيُّرِ الاتِّزان (سائل-بخار) عندَ تعرُّضِه لعاملٍ مؤثِّر، كأن تزدادَ درجةُ حرارةِ النظامِ من 25ºC إلى 50ºC. يمكنُ تمثيلُ هذا الاتِّزانِ بالتغيُّرِ الانعكاسيِّ التالي:

$$H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$$

وفقًا لمبدأ لو شاتيلييه، سيستجيبُ النظامُ لهذهِ الزيادةِ في درجةِ الحرارة. وسيكونُ في هذه الحالة، التغيُّرُ الأماميُّ ماصًّا للحرارة endothermic، أي إنه يمتصُّ الطاقةَ الحرارية. يعملُ التغيُّرُ الأماميُّ هذا على مقاومةِ الارتفاع في درجةِ الحرارة، وتقليلِ أثرِها إلى الحدِّ الأدنى. يتمُّ ذلك بالزيادةِ في معدَّلِ التغيُّرِ الأمامي إلى الحدِّ الأقصى، قياسًا على التغيُّرِ العكسيِّ، إلى أن يتحقّقَ اتِّزانٌ جديد. يصبحُ تركيزُ البخارِ عند درجةِ الحرارة 50ºC أكثرَ منه عند درجةِ الحرارة 25ºC، لكن في حالةِ الاتِّزانِ يحصُل التكثُّفُ (التغيُّرُ العكسي) بمعدَّلٍ أعلى من معدَّلهِ عند درجةِ الحرارةِ الأقل.

افترضْ أن درجةَ حرارةِ النظامِ في حالةِ الاتّزان كانت 25ºC ثم انخفضتْ إلى 5ºC. وفقًا لمبدأ لو شاتيلييه، سيعملُ النظامُ على مقاومةِ هذا الانخفاضِ في درجةِ الحرارةِ بزيادةٍ في معدَّلِ التغيُّرِ العكسي، وذلك لأنه طاردٌ للحرارة exothermic، أي باعثٌ للطاقةِ الحرارية. عندئذٍ ينزاحُ الاتّزانُ إلى اليسارِ ويستقرُّ عند درجةِ حرارة 5ºC. ويصبحُ تركيزُ بخارِ الماءِ الآن أقلَّ منه عندَ درجةِ حرارة 25ºC.

الاتّزان والتركيز

افترضْ أن كتلةَ النظامِ المتّزنِ ودرجةَ حرارتهِ بقيتا ثابتتَين، إلا أن الحجمَ ازدادَ فجأة. ماذا يحصلُ للاتّزان؟

بالنظر إلى زيادةِ الحجم، يقلُّ تركيزُ الجزيئاتِ في الحالةِ البخارية. ويقلُّ، بالتالي، معدَّلُ التكثُّف. نتيجةً لذلك يزدادُ معدَّلُ التبخُّر، ليصلَ إلى حالةِ اتزانٍ جديدة، يقلُّ فيها عددُ جزيئاتِ السائل. يوضحُ الجدول 6-3 تغيُّرَ مواضعِ الاتزانِ نتيجةً لتأثيرِ بعضِ العواملِ في التغيُّرِ التالي:

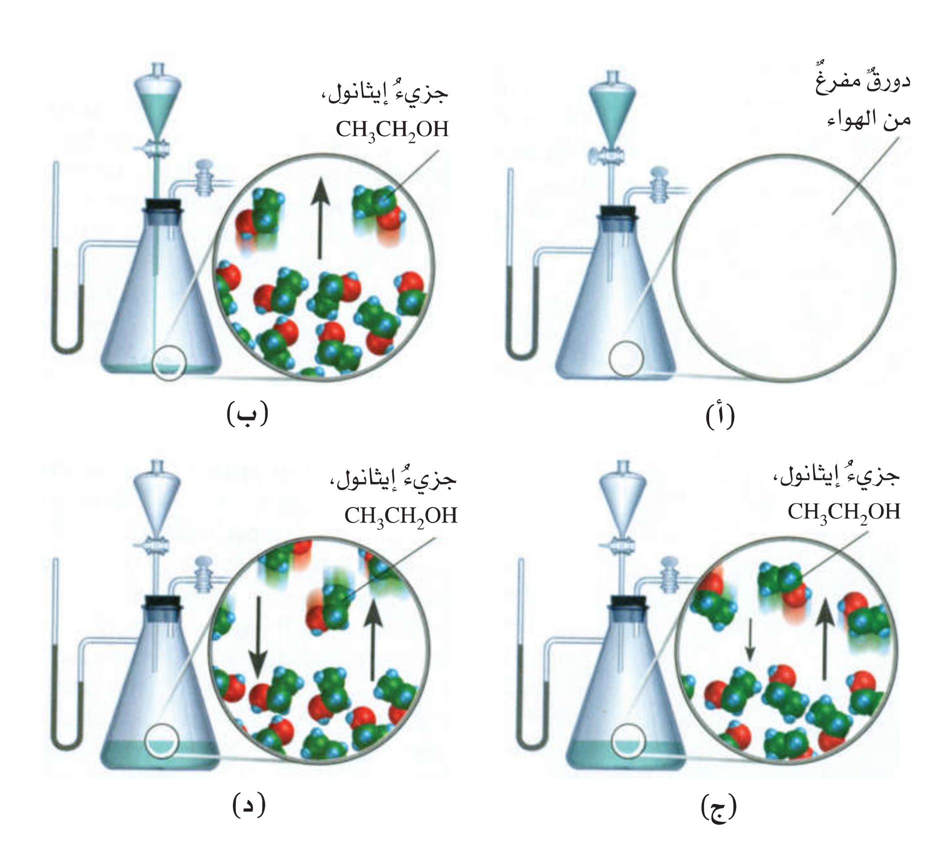
$$H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$$

الجدول 6-3 انتقالُ الاتّزان في التغيّر $H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$

التغيُّر	الانزياح
إضافةُ سائل	يمينًا
إزالةُ سائل	يسارًا
إضافةُ بخار	يسارًا
إزالةُ بخار	يمينًا
تقليلُ حجمِ الإناء	يسارًا
زيادةُ حجمِ الإناء	يمينًا
انخفاضُ درجةِ الحرارة	يسارًا
زيادةُ درجةِ الحرارة	يمينًا

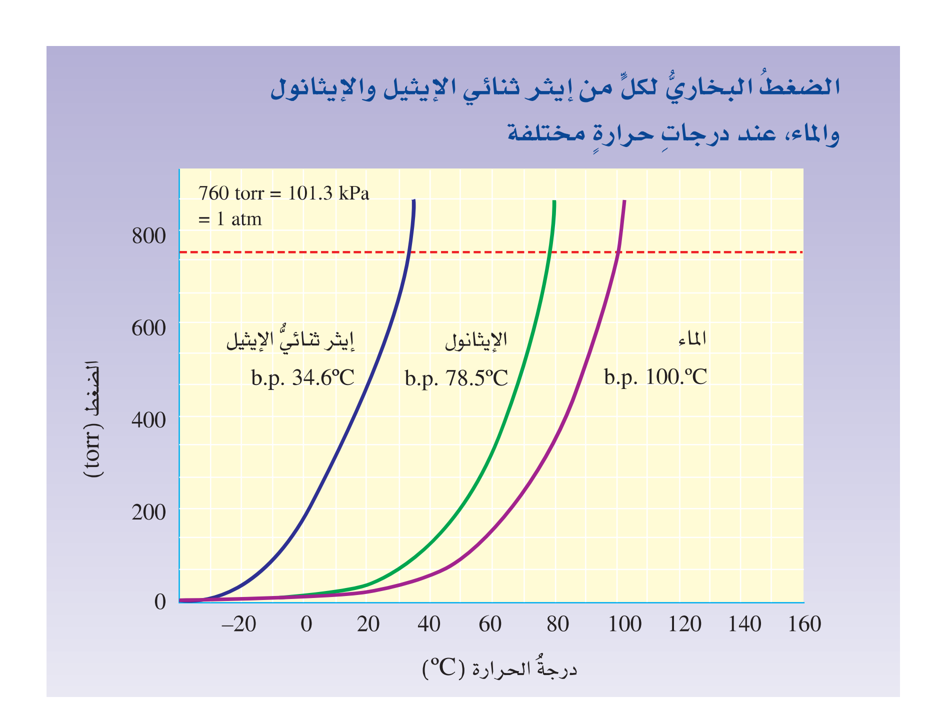
الضغطُ البخاريُّ للسائل

تمارسُ جزيئاتُ البخارِ الموجودةُ في حالةِ اتزانٍ مع السائل، داخلَ نظامٍ مغلق، ضغطًا تتناسبُ شدَّتُهُ مع تركيزِ البخار. ***ويسمّى الضغطُ الذي يمارسُه بخارٌ في حالةِ اتّزانٍ مع السائلِ، عند درجةِ حرارةٍ معيَّنة، الضغطَ البخاريَّ The vapor pressure لذلك السائل***. يبيِّنُ الشكل 6-11 الجهازَ والطريقةَ المستخدمةَ لقياسِ الضغطِ البخاريِّ لسائلٍ معيَّن.



الشكل 6-11 (أ) يمكنُ قياسُ الضغطِ البخاريِّ للإيثانول CH_3CH_2OH بتنقيطِ الإيثانول السائل داخلَ دورقٍ مفرغٍ يمثِّلُ جزءًا من النظامِ المغلق. (ب) تتركُ بعضُ جزيئاتِ الإيثانولِ سطحَ السائل لتكوِّنَ بخارًا. (ج) تستمرُّ جزيئاتُ الإيثانول في التبخُّرِ والتكثُّف، حتى تحصلَ حالةُ الاتزان. (د) عندَ الاتِّزانِ يتمُّ تسجيلُ الضغطِ الذي يؤثِّرُ به البخارُ في مستوى الزئبقِ في جانبَي الأنبوبةِ المانومترية.

يمثِّلُ الشكل 6-12 منحنياتٍ للضغطِ البخاريِّ لكلٍّ من إيثر ثنائيِّ الإيثيل والإيثانول والماء. يبيِّنُ المنحنى أن البخارَ المتَّزنَ مع السائل يمارسُ ضغطًا معيّنًا عند جميعِ درجاتِ الحرارة، وأن الضغطَ البخاريَّ للسائلِ يزدادُ بارتفاعِ درجةِ الحرارة.



الشكل 6-12 يزدادُ الضغطُ البخاريُّ للسوائل بارتفاعِ درجةِ الحرارة. ويغلي السائلُ عندما يتساوى ضغطُهُ البخاري مع الضغطِ الجوّي.

الضغطُ البخاريُّ ونظريةُ الحركةِ الجزيئية

يمكنُ تفسيرُ الزيادةِ في الضغطِ البخاريِّ الناتجةِ عن ارتفاعِ درجةِ الحرارة، بواسطةِ نظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ للحالتَين السائلةِ والغازية. تسبِّبُ زيادةُ درجةِ حرارةِ السائل زيادةً في معدَّلِ طاقتِه الحركية. هذا يعني زيادةً في عددِ الجزيئاتِ التي تكتسبُ طاقةً كافيةً للإفلاتِ من حالةِ السيولةِ إلى الحالةِ الغازيّة. تؤدّي الزيادةُ الناتجةُ في معدَّلِ التبخُّرِ إلى زيادةٍ في تركيزِ جزيئاتِ البخار، وبالتالي إلى زيادةٍ في الضغطِ البخاري، وينتجُ عن ذلك اضطرابٌ في حالة الاتّزان (سائل-بخار). وتؤدّي الزيادةُ في تركيزِ جزيئاتِ البخار، من ناحيةٍ أخرى، إلى زيادةٍ في معدَّلِ تكثُّفِ جزيئاتِ البخارِ وتحوُّلِها إلى سائل. وسرعانَ ما يرجعُ الاتِّزان، لكن عندَ ضغطٍ بخاريٍّ أعلى من السابق.

السوائلُ المتطايرةُ والسوائلُ غيرُ المتطايرة

بما أن للسوائلِ جميعًا قوى تجاذبٍ بينَ جزيئاتِها، فإن لكلِّ سائلٍ ضغطًا بخاريًّا خاصًّا به عندَ درجةِ حرارةٍ معيَّنة. وبقدرِ ما تكونُ قوى التجاذبِ بينَ الجزيئاتِ قويةً تقلُّ نسبةُ جزيئاتِ السائلِ المتبخِّرة عند درجةِ الحرارةِ المعيَّنة. وتؤدّي نسبةُ التبخُّرِ المنخفضةُ إلى ضغطٍ بخاريٍّ منخفض. **والسوائلُ المتطايرة volatile liquids** ***هي السوائلُ التي تتبخَّرُ بسرعةٍ لأن قوى التجاذبِ بينَ جسيماتِها ضعيفة.*** الإيثر هو مثالٌ نموذجيٌّ للسائلِ المتطاير. أما السوائلُ غيرُ المتطايرة، التي تتبخَّرُ ببطء، فتكونُ قوى التجاذبِ بين جسيماتِها كبيرة. والمركَّباتُ الأيونيةُ المنصهرةُ أمثلةٌ على تلك السوائلِ غيرِ المتطايرة.

الغليان

يُستخدمُ الضغطُ البخاريُّ لتفسيرِ مفهوم الغليانِ وتعريفِهِ (راجع القسم 6-1). **الغليانُ boiling** ***عمليةُ تحوُّلِ السائلِ إلى بخار، وهي تتمُّ داخلَ السائلِ وعلى سطحه. ويحدثُ الغليانُ عندَما يتساوى الضغطُ البخاريُّ للسائلِ مع الضغطِ الجوي.***

عندَما ترتفعُ درجةُ حرارةِ سائلٍ ما يزدادُ ضغطُه البخاريُّ أيضًا، وصولاً إلى درجةِ حرارةِ الغليان. **ودرجةُ غليانِ boiling point** ***سائلٍ معيَّنٍ هي الدرجةُ التي يتساوى عندَها ضغطُهُ البخاريُّ مع الضغطِ الجوي.*** وكلما كانَ الضغطُ الجويُّ قليلاً قلَّتْ درجةُ الغليان. لذلك تغلي سوائلُ الطهي عند درجةِ حرارةٍ أقلَّ في المرتفعات، حيث يقلُّ الضغطُ الجويُّ عن مستواهُ عند سطحِ البحر، ويستغرقُ نضوجُ الطعامِ وقتًا أطول.

وعندَ درجةِ الغليان تُستهلَكُ الحرارةُ الممتصَّةُ كلُّها لتبخيرِ السائل، وتبقى درجةُ الحرارةِ ثابتةً ما دامَ الضغطُ ثابتًا. وعندَما يزدادُ الضغطُ فوقَ السائلِ المسخَّنِ ترتفعُ درجةُ حرارةِ السائل، إلى أن يتساوى ضغطُ البخارِ مع الضغطِ الجديد، ويبدأ السائلُ بالغليانِ مرّةً أخرى. هذا هو المبدأُ الذي بُنِيَ عليه عملُ قِدرِ الضغط. إن قِدرَ الضغطِ تُغلقُ بإحكامٍ لكي يتزايدَ ضغطُ البخارِ فوقَ سطحِ الماءِ المغليّ داخلَ القدر، مسبِّبًا ارتفاعًا في درجةِ غليانِ الماء، فيقلُّ بذلك وقتُ نضجِ الطعام. وعلى العكسِ من قِدرِ الضغط، صمِّمَ جهازٌ آخرُ يُسمّى قدرَ التبخيرِ الفراغي vacuum evaporator، ويستخدَمُ لإزالةِ الماءِ من محاليلِ الحليبِ والمحاليلِ السكّرية. فتحتَ ضغطٍ قليلٍ يغلي الماءُ عند درجةِ حرارةٍ منخفضة، فيمكنُ تجنُّبُ تلفِ الحليب أو السكر. وتستخدمُ هذه الطريقةُ لتحضيرِ الحليبِ المجفَّفِ والحليبِ المكثَّفِ والمحلّى صناعيًّا.

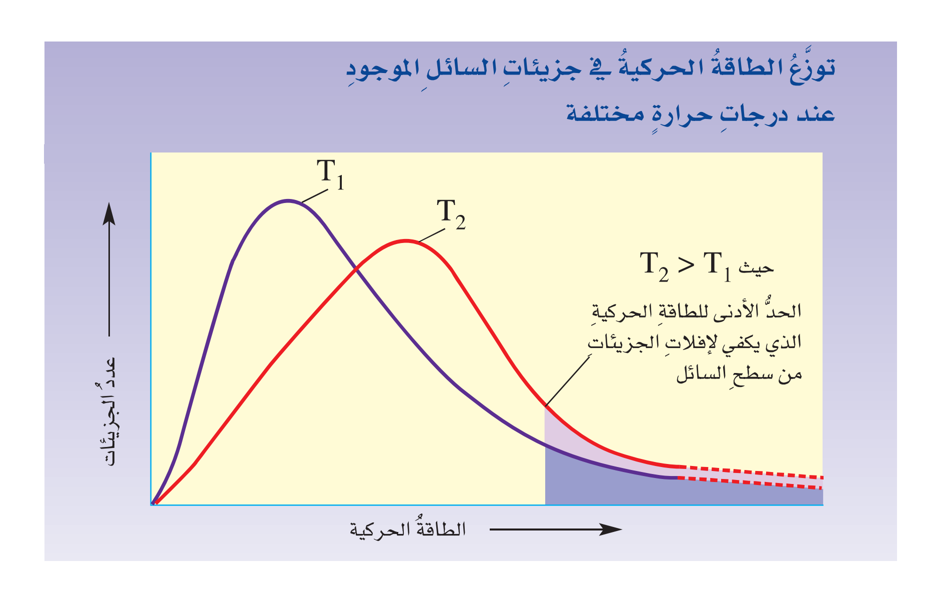
تحت الضغطِ الجوّيِّ الاعتيادي (1 atm، أو .760 torr، أو 101.3 kPa)، تكونُ درجةُ غليانِ الماء 100°C تمامًا. تُسمّى درجةُ الحرارةِ هذه درجةَ غليانِ الماءِ الاعتيادية. يبيِّن الشكل 6-12 درجاتِ الغليانِ الاعتياديةَ للماءِ ولِسوائلَ أخرى.

الطاقةُ والغليان

لكي يستمرَّ غليانُ سائلٍ معيَّنٍ، يجبُ أن نزوِّدَهُ بالطاقةِ الحراريةِ على الدوام. يتوقَّفُ الغليانُ مباشرةً بعدَ إزاحةِ قدرِ الماء المغليِّ عن النار، أو السخّان. وبافتراضِ أنك تمكَّنْتَ بكلِّ دقّةٍ من قياسِ درجةِ حرارةِ السائل الذي يغلي، ودرجةِ حرارةِ بخارِه، فقد تصابُ بالدهشةِ عندَما تجدُ أن درجتَيْ حرارتَيهما متساويتان. فالحرارةُ، أو معدَّلُ الطاقةِ الحركيةِ للجسيمات، عند درجةِ الغليان، تبقى ثابتةً على الرغمِ من استمرارِ التسخين. فأين تذهبُ إذن الطاقةُ الحراريةُ المضافة؟ تُستخدمُ هذه الطاقةُ في التغلُّبِ على قوى التجاذبِ بينَ الجسيماتِ في السائل، أثناءَ التغيُّرِ من سائلٍ إلى غاز، وتخزنُ الطاقةُ في البخارِ كطاقةٍ كامنة.

الحرارةُ الموليةُ للتبخير

***كمّيةُ الحرارةِ اللازمةُ لتبخيرِ مولٍ واحدٍ من السائلِ عندَ درجةِ غليانِه تُسمّى الحرارةَ الموليةَ للتبخير* molar heat of vaporization**. وتعتبرُ كمّيةُ الحرارةِ الموليةِ للتبخيرِ مقياسًا لقوةِ التجاذبِ بينَ جسيماتِ السائل. فكلَّما كانَتْ هذه القوى كبيرةً، لزمَ استخدامُ طاقةٍ أكبرَ للتغلُّبِ عليها. وينتجُ من ذلك حرارةٌ موليةٌ للتبخير أكبر. ولكلِّ سائلٍ حرارةٌ موليةٌ للتبخيرِ خاصّةٌ به. فللماء، بالمقارنةِ مع بقيةِ السوائل، حرارةٌ موليَةٌ للتبخيرِ عاليةٌ بشكلٍ غيرِ اعتيادي، وذلك لوجودِ الروابطِ الهيدروجينيةِ بينَ جزيئاتِ الماءِ السائل. هذه الخاصّةُ تجعلُ من الماءِ عاملَ تبريدٍ فعّالاً. فعندَما يتبخَّرُ الماءُ من الجلد، تحملُ الجزيئاتُ المتبخِّرةُ كمّياتٍ كبيرةً من الحرارةِ بعيدًا عن الجلدِ، فيبرُد. يبيِّنُ الشكل 6-13 توزُّعَ الطاقةِ الحركيةِ للجزيئاتِ في سائلٍ موجودٍ عندَ درجتَيْ حرارة. ويمكنُ ملاحظةُ التالي: عندَ درجةِ الحرارةِ العاليةِ يزدادُ عددُ الجزيئاتِ التي تملكُ طاقةً حركيةً كافيةً لجعلِها تفلتُ من سطحِ السائلِ وتصبحُ بخارًا.



الشكل 6-13 العلاقةُ بينَ عددِ الجزيئاتِ في سائلٍ والطاقةِ الحركية، عندَ درجتي حرارةٍ مختلفتين. لاحظ المنطقةَ المظلّلةَ التي تبيّنُ الحدَّ الأدنى للطاقةِ الحركيةِ اللازمةِ لكي يتمَّ التبخُّر.

التجمُّدُ والانصهار

عمليةُ التحوُّلِ الفيزيائيِّ للسائلِ إلى صلب تسمّى التجمُّد freezing . يتضمَّنُ التجمُّدُ فقدًا للطاقةِ الحراريةِ من السائل. وفيما يلي تمثيلٌ لهذه العملية:

$$H_2O(l) \rightarrow H_2O(s) + \text{طاقة حرارية}$$

في حالةِ الموادِّ الصلبةِ البلّوريةِ النقية، يحدثُ هذا التغيُّرُ عند درجةِ حرارةٍ ثابتة تسمى درجةَ التجمُّد. ***وتعرَف درجةُ التجمُّد* freezing point *العاديةُ بأنها درجةُ الحرارةِ التي يكونُ عندها الصلبُ والسائلُ في حالةِ اتّزانٍ، تحتَ ضغطٍ جوّيٍّ مقدارُه 1 atm (760 torr، أو 101.3 kPa)***. عندَ درجةِ التجمُّد يكونُ لجسيماتِ السائلِ وجسيماتِ الصلب معدَّلُ الطاقةِ الحركيةِ نفسُه. لذا يكونُ فقدُ الطاقةِ خلالَ التجمُّدِ فقدًا للطاقةِ الكامنةِ في السائل. وفي الوقتِ الذي تنخفضُ فيه الطاقة، تحصلُ زيادةٌ ملموسةٌ في ترتيبِ الجسيمات، لأن الجسيماتِ، في حالةِ الصلابة، تكونُ أكثرَ ترتيبًا، مقارنةً بجسيماتِ الحالةِ السائلة، عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها.

الانصهارُ هو عكسُ التجمُّد، ويحصلُ أيضًا عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة. لدى انصهارِ الصلبِ يمتصُّ حرارةً بشكلٍ مستمر. ويُمثِّلُ ذلك بهذه المعادلة:

$$H_2O(s) + \text{طاقة حرارية} \rightarrow H_2O(l)$$

في الموادِّ الصلبةِ البلّوريةِ النقية، تكونُ درجةُ الانصهارِ مساويةً لدرجةِ التجمُّد. وعندَ الاتزانِ يحدثُ كلٌّ من الانصهارِ والتجمُّدِ بمعدَّلاتٍ متساوية. والمعادلةُ التاليةُ تستخدمُ لتمثيلِ هذه الحالات:

$$H_2O(s) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(l)$$

تحت ضغطٍ جوّيٍّ اعتيادي، تبقى درجةُ حرارةِ نظامٍ يحتوي على ثلجٍ وماء عند درجة حرارة 0°C ما داما موجودَين معًا. وتبقى درجةُ الحرارةِ 0°C هذه ثابتةً مهما تكنْ درجةُ

حرارةِ الوسطِ المحيط. وكما هو متوقَّعٌ من تطبيقِ مبدأ لو شاتيلييه، فإن إضافةَ حرارةٍ إلى هذا النظامِ تدفعُ بالاتِّزانِ إلى اليمين، في اتِّجاهِ زيادةِ نسبةِ السائلِ (الماء). وبعدَ انصهارِ الثلجِ تمامًا يكونُ لرفعِ درجةِ الحرارةِ أثرٌ في رفعِ درجةِ حرارةِ النظام.

الحرارةُ الموليةُ للانصهار

***كميةُ الطاقةِ الحراريةِ اللازمةُ لصهرِ مولٍ واحدٍ من الصلبِ عندَ درجةِ حرارةِ انصهاره، تسمَّى الحرارةَ الموليةَ للانصهار* molar heat of fusion**. وبزيادةِ الحرارةِ المتصَّةِ تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ للصلب التي توظَّفُ للتغلُّبِ على قوى الجذبِ التي تربطُ بينَ الجزيئات. وفي الوقتِ نفسِه، ينخفضُ ترتيبُ الجسيماتِ انخفاضًا كبيرًا عندَما تتحوَّلُ الجسيماتُ من الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ السائلة. وتعتمدُ الحرارةُ الموليةُ للانصهار، كالحرارةِ الموليةِ للتبخير، على التجاذبِ بينَ جُسيماتِ الصلب.

التصعيدُ (التسامي) والترسيب

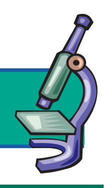
عند درجةِ الحرارةِ المنخفضةِ والضغطِ المنخفض، لا يبقى السائلُ سائلاً. تحت هذه الشروط تبقى المادة الصلبة في حالةِ اتّزانٍ مع بخارِها بدلَ سائلِها، كما يتّضحُ من هذه المعادلة:

$$H_2O(s) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$$

***يُسمَّى التغيُّرُ من الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ الغازية، دونَ المرورِ في الحالةِ السائلة، التصعيد (التسامي)* sublimation. *والعمليةُ المعاكسةُ، أي التغيُّرُ من الحالةِ الغازيةِ إلى الصلبة، دون المرورِ في الحالة السائلة تُسمَّى الترسيب* deposition**. من الموادِّ المتسامية، عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة، الثلجُ الجافُّ (CO_2 الصلب) واليود. ويتسامى الثلجُ العاديُّ ببطءٍ عندَ درجاتِ الحرارةِ التي تقلُّ عن درجةِ حرارةِ انصهاره (0ºC). وهذا يفسرُ كيفَ تختفي طبقةٌ خفيفةٌ من الجليدِ، وإن بقيَت درجةُ الحرارةِ دون 0.ºC. يحدثُ التسامي في ثلاجاتِ التجمُّدِ الحُر frost free حينَما تُرفعُ الحرارةُ في حجرةِ التجميدِ بصورةٍ دوريةٍ، لجعلِ أيِّ كميةٍ من الثلجِ المتكوِّنِ تتسامى بسرعة. ثم تقومُ ساحبةٌ (شافطة) كهربائيةٌ بإزالةِ بخارِ الماءِ المتكوِّن. من ناحيةٍ أخرى يُعدُّ تكوُّنُ الجليدِ على السطوحِ الباردةِ مثالاً شائعًا على عمليةِ الترسيب.

مراجعةُ القسم 3-6

1. ما هو الاتِّزان؟
2. عرِّفْ مبدأ لو شاتيلييه.
3. ماذا يحدثُ عندَ رفعِ درجةِ الحرارة، أو خفضِها للنظامِ المتَّزنِ التالي: $H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$
4. أعطِ مثالاً على الترسيب.
5. ما المقصودُ بالضغطِ البخاريِّ للسائل؟
6. ما المقصودُ بدرجةِ غليانِ السائل؟



قراءة علمية

موادُّ متغيِّرةُ الحالة

قد تتغيَّرُ إعلاناتُ مكاتبِ بيعِ العقاراتِ مستقبلاً، لتكونَ على النحوِ التالي: منزلٌ مثاليّ، بغرفتَيْ نوم وحمّامَين مع غرفةِ استقبال تُدَّفأ وتبرَّدُ بأقلِّ ما يمكنُ من الطاقةِ الكهربائية، أو أي طاقةٍ أخرى. إن مثلَ هذه المنازلِ ستصبحُ شائعةً في القريبِ العاجل. وستساهمُ تكنولوجيا تغييرِ الحالةِ في السيطرةِ على حرارةِ المنازل، التي ستبنى من جدرانٍ تنصهرُ حشوتُها أو تتجمَّدُ جزئيًّا، مع تغيُّراتِ الطقس.

عندَما تتغيّرُ الحالةُ الفيزيائيةُ لأي مادة، تطلقُ المادةُ حرارةً أو تمتصُّ حرارة. وقد تمَّ تصميمُ جدرانٍ تعملُ على هذا الأساس. فعندَ ملءِ هذهِ الجدرانِ بنوعٍ من البارافين، ينصهرُ أو يتجمَّدُ عندَ درجةِ حرارةٍ مقاربةٍ لـ 24°C. فعندَما ترتفعُ درجةُ الحرارةِ خارجَ المنزلِ فوق هذه الدرجةِ، ينصهرُ البارافين ممتصًّا الحرارةَ من داخلِ المنزل. ويحصلُ العكسُ تمامًا عندَما تنخفضُ درجةُ حرارةِ الجوِّ خارجَ المنزل. ونتيجةً لهذا التغيُّرِ في الحالة، تبقى درجةُ حرارةِ المنزلِ ثابتَةً بشكلٍ مريح، باستخدامِ كميّةٍ قليلةٍ من الطاقة، ناهيك عن استخدامِ حرارةِ الشمسِ مستقبلاً على نطاقٍ واسع.

لدى تسخينِ الموادِّ بالطاقةِ الكهربائيَّةِ عدَّةَ ساعاتٍ، يصبحُ في الإمكانِ خزنُ الحرارة، عندَما يتحوَّلُ البارافين في الجدرانِ إلى الحالةِ السائلة. وعندَما تبردُ حرارةُ الجدرانِ، يتجمَّدُ البارافين مطلِقًا طاقةً حراريةً إلى داخلِ المنزلِ، تبقيه دافئًا طوالَ اليوم. ولمّا كانَ تغيُّرُ الحالةِ هو من خصائصِ المادةِ الطبيعية، فإن الجدرانَ ستسخنُ وتبردُ بصورةٍ ذاتية، دونَ الحاجةِ إلى مراقبتِها من قبلِ عمّالٍ أو مختصين، أو تغييرِها بسببِ التلفِ أو التآكل.



تغيُّراتُ الحالةِ هي تغيُّراتٌ فيزيائية يمكنُ أن تكونَ طاردةً أو ماصّةً للحرارة، وهي تتعلّقُ باتِّجاهِ انسيابِ الطاقةِ بينَ جسمٍ ومحيطِه.

وهناك اختراعٌ آخرُ حديثٌ، يعملُ على التقليلِ، إلى حدٍّ بعيدٍ من كلفةِ تبريدِ المباني وتدفئتِها. يقومُ هذا الاختراعُ على استخدامِ حشواتٍ مركَّبة، مصنوعةٍ من موادَّ لها القدرةُ على تغييرِ حالتِها الفيزيائية. توضعُ هذه الحشواتُ في فراغاتٍ ضمنَ قوالبِ الإسمنتِ المسلَّح، قبلَ صبِّها في المواقع. لتلك الحشواتِ قدرةٌ على الاحتفاظِ بحرارةِ الشمسِ في الشتاء، لأغراضِ التدفئة، وقدرةٌ على الاحتفاظِ ببرودةِ ليالي الصيفِ لتلطيفِ الحرارة في النهار.

يتوقَّعُ الباحثون أن يستفادَ من هذه التقنيةِ في مجالاتٍ تطبيقيةٍ متعدِّدة، علمًا أن الموادَّ المغيِّرةَ لحالتِها تُسوَّقُ حاليًّا في مجالِ المحافظةِ على دفءِ الطعام، بعدَ تسخينِه بالأشعةِ الميكروية لبضعِ دقائق. تصنعُ تلك الموادُّ بشكلِ وسائدَ صغيرة، تبقى ساخنةً لساعاتٍ طويلة. تستخدمُ هذه الطريقةُ أيضًا لإبقاءِ الصحونِ والأطباقِ ساخنةً، فيبقى الطعامُ ساخنًا. ومع وجودِ الموادِّ المغيِّرةِ لحالتِها قد لا يبقى الطقسُ في الشتاءِ شديدَ البرودة، إذا ما استُخدِمَتْ هذه الموادُّ في تبطينِ المعاطفِ والقبَّعاتِ والقفّازات... ومع هذه الموادِّ يمكنُ للنباتاتِ أن تبقى دافئةً في أحواضِها. ويمكنُ استخدامُ تلك الموادِّ أيضًا في إسفلتِ الجسورِ على الطرقات، وفي بطاناتِ بطّارياتِ السيّاراتِ لحمايتِها من التجمُّد. كذلك، مع استخدامِ الموادِّ المغيِّرةِ لحالتِها يمكنُ تصنيعُ بزّاتٍ لجنودِ الإطفاء، تقيهمُ الحرارة، وتبقي درجةَ حرارةِ أجسامِهم مريحة. ويمكنُ الاستفادةُ من هذه الموادِّ أيضًا في تصنيعِ أغلفةٍ مقاومةٍ للحرارة، حولَ نقاطٍ حسّاسةٍ في الطائرةِ ينبغي حمايتُها، كمسجِّلِ بياناتِ الطيران، ومسجِّلِ الصوتِ للقمرة، وهما من المعدّاتِ التي تدخلُ في مكوِّناتِ الصندوقِ الأسود، الذي يسجِّلُ مجرياتِ الأحداث، عند وقوعِ الحوادث.

القســـم 6-4

مؤشراتُ الأداء

- يصفُ بنيةَ جزيءِ الماء.
- يناقشُ الخصائصَ الفيزيائيةَ للماء، ويوضحُ كيف تحدَّد من خلال بنيةِ الماء.
- يحسبُ كمّيةَ الطاقةِ الحرارية الممتصة أو المنبعثة، عندما تغيِّرُ كمّيةٌ من الماءِ حالتَها.

الماء

الماءُ هو المادةُ الأكثرُ شيوعًا في حالاتِها الفيزيائيةِ الثلاث، السائلةِ والصلبةِ والغازية. والماءُ هو السائلُ الأكثرُ توفُّرًا على سطحِ الأرض. فالبحارُ والبحيراتُ والأنهارُ تغطّي أكثرَ من 75% من مساحةِ سطحِ الأرض. وهنالك كمّياتٌ هائلةٌ من الماءِ متجمِّدةٌ في القطبَين. والماءُ هو المكوِّنُ الضروريُّ لجميعِ الأحياء، وهو يشكِّلُ من 70% إلى 90% من كتلةِ الكائناتِ الحية. وتجري التفاعلاتُ الكيميائيَّةُ، في معظمِ الأنشطةِ الحيوية، بوجودِ الماء. وهذا ما يؤكِّدُه قولُه تعالى ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ﴾. ويكونُ الماءُ في الأغلب من النواتجِ أو المتفاعلاتِ في هذه التفاعلات. ولكي نفهمَ أهميةَ الماءِ بشكلٍ أفضل، لا بدَّ أن تكونَ أكثرَ إلمامًا ببنيتِهِ وخصائصِه.

بنيةُ الماء

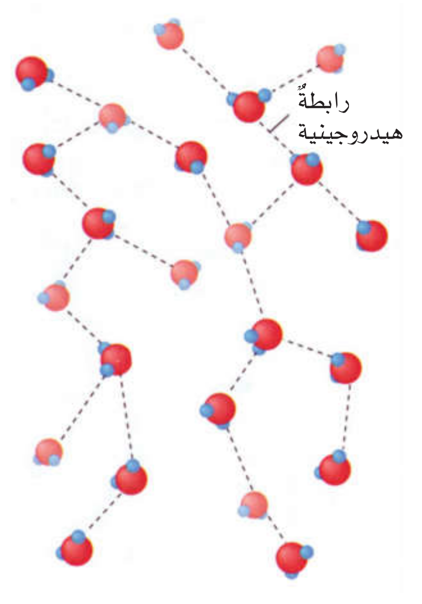
يتكوَّنُ جزيءُ الماءِ (راجعِ الفصل 6 من كتاب الصفّ العاشر) من ذرَّتَيْ هيدروجين وذرَّةِ أكسجين متَّحدةٍ بروابطَ تساهميةٍ قطبية. أظهرَتِ التجاربُ أن جزيءَ الماء زاويُّ الشكل، ويمكنُ تمثيلُ بنيتِه هكذا:



تبلغُ قيمةُ الزاويةِ بينَ رابطتَي الهيدروجين –الأكسجين 105°. وتقتربُ هذه القيمةُ من قيمةِ الزاويةِ المتوقَّعةِ لتهجينِ sp^3 الخاصّةِ بأفلاكِ ذرَّةِ الأكسجين.

تترابطُ الجزيئاتُ في الماء أو الثلجِ بروابطَ هيدروجينية. ويقلُّ عددُ الجزيئاتِ المترابطةِ بارتفاعِ درجةِ الحرارة، لأن الزيادةَ في الطاقةِ الحركيةِ للجزيئاتِ تجعلُ من تكوينِ الروابطِ أمرًا صعبًا. ومع ذلك، يوجدُ، في كلِّ مجموعةٍ من الماءِ السائل، عددٌ من الجزيئاتِ يُراوحُ بينَ 4 و 8، مترابطةٌ بروابطَ هيدروجينية، كما في الشكل 6-14. ولولا هذهِ المجموعاتُ الجزيئيةُ لتحوَّلَ الماءُ إلى بخارٍ عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة. الجزيئاتُ غيرُ القطبيةِ كالميثان CH_4 هي، من ناحيةٍ أخرى، شبيهةٌ بجزيئاتِ الماء كتلةً وحجمًا، لكنها لا تحتوي على روابطَ هيدروجينية فيما بينها. لذلك يكونُ الميثان غازًا عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة.

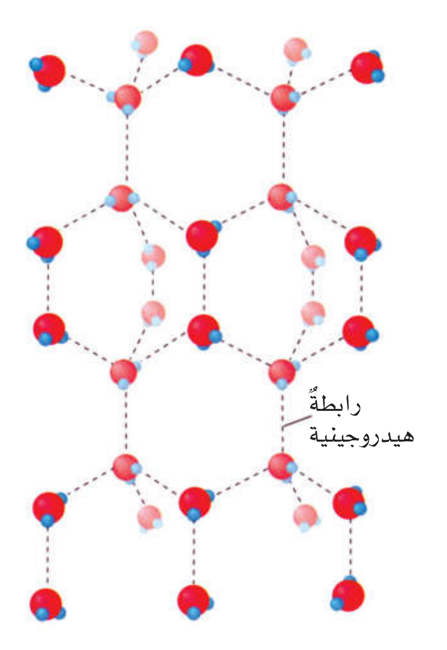
والثلجُ يتكوَّنُ من جزيئاتٍ مرتَّبةٍ على شكلِ سداسيِّ الأوجه، كما في الشكل 6-15. ويُعتبرُ الفراغُ الموجودُ بينَ الجزيئاتِ في هذا الترتيب سببًا لكثافةِ الثلجِ المنخفضة. وعندَ تسخينِ الثلجِ تتحرَّكُ جزيئاتُهُ وتهتزُّ بشدّة، بسببِ ارتفاعِ طاقتِها. وعندما تصلُ إلى درجةِ الانصهارِ تصبحُ طاقةُ الجزيئاتِ مرتفعةً إلى حدٍّ تتحطَّمُ معهُ البنيةُ المفتوحةُ والصلدةُ لبلّورةِ الثلج، فيتحوَّلُ الثلجُ إلى ماء.



الشكل 6-14 تبيِّنُ بنيةُ الماءِ السائلِ أن الأكسجين داخلَ جزيءِ الماء يرتبطُ مع الهيدروجين بروابطَ تساهمية، بينما تتصلُ جزيئاتُ الماءِ بعضُها ببعضٍ بروابطَ هيدروجينية.

ويبيِّنُ الشكلان 6-14 و 6-15 أن عددَ الروابطِ الهيدروجينية بينَ جزيئاتِ الماء، عندَ درجةِ الحرارة 0ºC، أقلُّ من عددِها بين جزيئاتِ الثلج وأكثرُ عشوائيةً عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها. ذلك أنَّ بنيةَ الثلجِ الصلبةَ المفتوحةَ قد تفكَّكت، ما يجعلُ جزيئاتُ الماء تتجمّعُ متقاربةً، وبالتالي يكونُ الماءُ أكثرَ كثافةً من الثلج.

عندَما يسخُن الماءُ السائلُ بدءًا من درجةِ حرارة 0ºC، تتجمّعُ جزيئاتُ الماءِ بشكلٍ أكبرَ ويصبحُ التجمّعُ هذا في أقصاهُ عند درجةِ حرارة 3.98ºC. وعندَ درجاتِ الحرارةِ الأعلى من 3.98ºC تؤدّي الطاقةُ الحركيةُ المتزايدةُ للجزيئاتِ إلى تغلُّبِها على قوى التجاذبِ التي تجمعُها وتكتُّلُها، فتتباعدُ مع استمرارِ درجةِ الحرارة في الارتفاع، حتى درجةِ الغليان. عندَ درجةِ الغليانِ، تمتصُّ مجموعاتٌ من جزيئاتِ الماءِ السائلِ كمّيةً من الطاقةِ تكفي لانفصالِها وتكوينِ جزيئاتٍ منفردة. وبسببِ وجودِ الروابطِ الهيدروجينيةِ بينَ جزيئاتِ الماء، توجدُ حاجةٌ إلى طاقةٍ حركيةٍ عاليةٍ تجعلُ درجةَ الغليانِ نسبيًّا عالية (100.ºC) بالمقارنةِ مع سوائلَ أخرى لها كتلٌ موليةٌ مشابهةٌ للكتلةِ الموليةِ للماء.



الشكل 6-15 للثلجِ أنواعُ الترابطِ نفسُها الموجودةُ في الماء، إلا أن تركيبَ الترابطِ الهيدروجيني أكثرُ صلابةً واتساعًا من تركيبِ الترابطِ في الماء.

الخصائصُ الفيزيائيةُ للماء

يكونُ الماءُ عندَ درجةِ حرارةِ الغرفةِ شفّافًا، عديمَ الرائحةِ والطعمِ واللون. والسببُ لأيِّ طعمٍ أو رائحةٍ محسوسينِ للماء، هو وجودُ شوائبَ من السوائلِ أو الغازاتِ أو الموادِّ الصلبة ذائبةٍ فيه.

تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لانصهارِ الثلج 6.009 kJ/mol. هذه القيمةُ كبيرةٌ قياسًا على الحرارةِ الموليةِ لانصهارِ الموادِّ الصلبة الأخرى. وللماءِ، كما ذُكرَ من قبل، خاصّيةٌ غيرُ اعتيادية هي أن حجمَه يتمدَّدُ عندَ التجمُّد، لأن بنيتَه الجزيئيةَ مكوّنةٌ من شكلٍ صلبٍ مفتوح. نتيجةً لذلك تكونُ كثافةُ الثلجِ عندَ درجةِ الحرارة 0ºC حوالي $0.917\ g/cm^3$ فقط، في حين أن كثافةَ الماءِ عندَ هذه الدرجة $0.99984\ g/cm^3$.

وتفسِّرُ كثافةُ الثلجِ المنخفضةُ نسبيًّا سببَ طفوهِ على سطحِ الماء. والتأثيرُ العازلُ للثلجِ الطافي ذو أهميةٍ كبيرةٍ فيما يتعلّقُ بكتلِ الماءِ الكبيرة، كالبحارِ والبحيراتِ والأنهار. فلو كان الثلجُ أكثرَ كثافةً من الماءِ لغطسَ إلى قيعانِ البحارِ أو البحيرات، حيثُ يقلُّ احتمالُ انصهارِه كليًّا، ولتجمَّدَ ماءُ هذهِ البحارِ في المناخاتِ المعتدلة، ما كان يؤدي إلى قتلِ جميعِ أنواعِ الحياةِ فيها.

يغلي الماءُ عندَ درجةِ حرارة 100ºC، وتحت ضغطٍ جوّي 1 atm (101.3 kPa). عندَ هذه الدرجة، تكونُ الحرارةُ الموليةُ لتبخيرِ الماء 40.79 kJ/mol. من الواضحِ أن درجةَ الغليانِ والحرارةَ الموليةَ للتبخيرِ العائدتَينِ إلى الماء مرتفعتان، قياسًا على مثيلتَيهما في الموادِّ غيرِ القطبية ذاتِ الكتلِ الجزيئيةِ المتساوية، كالميثان. وهاتانِ القيمتانِ عاليتانِ بسببِ الترابطِ الهيدروجينيِّ، الذي يجبُ التغلُّبُ عليه لحصولِ الغليان. إن الحرارةَ الموليةَ للتبخيرِ تجعلُ الماءَ مفيدًا في أنظمةِ التدفئةِ البيتيةِ بالبخار. فعندَما يتكثَّفُ البخارُ في المشعّاتِ الحراريةِ تنبعثُ كمّياتٌ كبيرةٌ من الحرارة.

مسألةٌ نموذجية 1-6

ما كمّيةُ الطاقةِ الحراريةِ المتصَّةُ عندَ انصهارِ 47.0 g من الثلجِ تحتَ شروطِ STP؟ وما كمّيةُ الطاقةِ الحراريةِ المتصَّةُ عندَ غليانِ هذه الكتلةِ من الماء؟

الحلّ

1 حلّل

المعطى: كتلة $H_2O(s)$ = 47.0 g

كتلة $H_2O(l)$ = 47.0 g

الحرارةُ الموليةُ لانصهارِ الثلج = 6.009 kJ/mol

الحرارةُ الموليةُ للتبخير = 40.79 kJ/mol

المجهول: الطاقةُ الحراريةُ المتصَّةُ عندَ انصهارِ الثلج

الطاقةُ الحراريةُ المتصَّةُ عندَ غليانِ الماء

2 خطّط

أوّلاً، حوِّلْ كتلةَ الماءِ بالجرامات إلى مولات.

$$g\ H_2O \times \frac{1\ mol\ H_2O}{g\ H_2O} = mol\ H_2O$$

ثم استخدمِ الحرارةَ الموليةَ لانصهارِ الثلج، لحسابِ كمّيةِ الحرارةِ المتصّةِ عندَ انصهارِه. اضربْ عددَ المولاتِ في كمّيةِ الطاقةِ اللازمةِ لصهرِ مولٍ واحدٍ من الثلجِ عندَ درجةِ الانصهارِ (الحرارة المولية لانصهارِ الثلج). استخدمِ الطريقةَ نفسَها لحسابِ كمّيةِ الحرارةِ المتصَّةِ عندَ غليانِ الماء باستعمالِ الحرارةِ الموليةِ للتبخير.

كمّيةِ المادة (mol) × الحرارةُ الموليةُ للانصهارِ أو الغليان (kJ/mol) = الطاقة الحرارية (kJ)

3 احسب

$$47.0\ \cancel{g\ H_2O} \times \frac{1\ mol\ H_2O}{18.02\ \cancel{g\ H_2O}} = 2.61\ mol\ H_2O$$

$2.61\ \cancel{mol} \times 6.009\ kJ/\cancel{mol} = 15.7\ kJ$ (عندَ الانصهار)

$2.61\ \cancel{mol} \times 40.79\ kJ/\cancel{mol} = 106\ kJ$ (عندَ التبخيرِ أو الغليان)

4 قيّم

اختُصرتِ الوحداتُ بصورةٍ صحيحة. للجوابِ عددُ أرقامٍ معنويةٍ صحيحة .

تمارينُ تطبيقية

1. ما كمّيةُ الطاقةِ الحراريةِ المتحرِّرةُ عندَ تجمُّد 506 g من الماء؟

2. ما كتلةُ البخارِ اللازمةُ لتحريرِ 4.97×10^5 kJ من الطاقةِ الحرارية عندَ التكثُّف؟

الجواب

1. 169 kJ

2. 2.20×10^5 g

مراجعةُ القسم 6-4

1. لماذا يكونُ جزيءُ الماءِ قطبيًّا؟

2. كيف تعملُ بنيةُ الماءِ على إكسابهِ خصائصَه المميزة؟

3. صفْ ترتيبَ الجزيئاتِ في الماءِ وفي الثلج.

4. لماذا يطفو الثلج؟ ما أهميةُ هذه الظاهرة؟

مراجعةُ الفصل 6

ملخّصُ الفصل

1-6

- تكونُ جزيئاتُ السائلِ أكثرَ تقاربًا وانتظامًا من جزيئاتِ الغاز، وأقلَّ انتظامًا من جزيئاتِ المادة الصلبة.
- للسوائلِ حجومٌ محدّدةٌ وكثافةٌ عاليةٌ نسبيًّا، وهي موادُّ غيرُ قابلةٍ للانضغاط. والسوائلُ تنساب، كما الغازات، ولذا تعتبرُ من الموائع. وللسوائلِ القدرةُ على إذابةِ الموادِّ الأخرى.
- السوائلُ ذاتُ قدرةٍ على الانتشار، وتكوّنُ توتُّرًا سطحيًّا. ويمكنُها التبخُّرُ والغليان. ويقالُ تجمَّدَ السائلُ عندَما يتحوّلُ إلى صلب.

المفردات

التجمُّد (170) freezing
التبخُّر (169) evaporation
التبخير (169) vaporization
التوتُّرُ السطحي (169) surface tension
الخاصّيةُ الشعرية (169) capillary action
المائع (167) fluid

2-6

- لا تكونُ جسيماتُ المادةِ الصلبةِ حرَّةً تمامًا في حركتِها، كجسيماتِ المادة السائلة أو الغازية، بل تكون قادرةً على الاهتزازِ في محلِّها.
- للموادِّ الصلبةِ شكلٌ محدَّدٌ. فقد تكونُ بلّوريةً أو لابلّورية. وللموادِّ الصلبةِ حجمٌ محدَّدٌ ولا تكوِّنُ موائع. ومن الخصائص الإضافيةِ للموادِّ الصلبة أنها عاليةُ الكثافة. وتتَّصفُ باللاانضغاطية، ولها معدَّلُ انتشارٍ منخفضٌ ودرجةُ انصهارٍ محدَّدة (للبلّورات).
- التركيبُ البلوريُّ هو التركيبُ الكليُّ الثلاثيُّ الأبعادِ لجسيماتِ البلّورة. يمكنُ تصنيفُ البلورةِ إلى واحدٍ من سبعةِ أنظمةٍ بلّورية، وفقًا للتركيبِ البلّوريِّ الثلاثيِّ الأبعادِ لوحدةِ خليّتِها. ويمكنُ تصنيفُ البلّورةِ أيضًا في أربعةِ أنواع، تبعًا لنوعِ الجسيماتِ التي تحتوي عليها تلك البلّورة، وتبعًا لنوعِ الترابطِ بينَ جسيماتِها.
- ليسَ للموادِّ الصلبةِ اللاّبلّورية شكلٌ منتظم. وهذهِ الموادُّ تتّخذُ، عوضًا عن ذلك، الشكلَ الذي نختارُه لها.

المفردات

الانصهار (172) melting
البلّورة (172) crystal
التركيبُ البلّوري (173) crystal structure
درجةُ الانصهار (172) melting point
السوائلُ الفائقةُ التبريد (172) supercooled liquids
الموادُّ الصلبةُ البلّورية (172) crystalline solids
الموادُّ الصلبةُ اللاّبلّورية (172) amorphous solids
وحدةُ الخليّة (173) unit cell

3-6

- ببطءٍ يصلُ السائلُ داخلَ نظامٍ مغلقٍ إلى حالةِ الاتّزانِ (سائل-بخار)، عندَما يتساوى معدَّلُ تكثُّفِ جزيئاتِه مع معدَّلِ تبخُّرِها.
- عندما يحصلُ تغيُّرانِ متعاكسانِ يحصلانِ بمعدَّلينِ متساويينِ داخلَ نظامٍ مغلق، يقالُ عن النظامِ إنه في حالةِ اتّزانٍ ديناميكي. ينصُّ مبدأُ لو شاتيلييه على التالي: عندما يضطربُ نظامٌ في حالةِ اتّزان، نتيجةَ عاملٍ مؤثِّر، يتَّخذُ هذا النظامُ حالةَ اتّزانٍ جديدةً تقلِّلُ من أثرِ هذا العاملِ إلى الحدِّ الأدنى.
- الضغطُ الذي يؤثِّرُ به بخارٌ في حالةِ اتّزانٍ مع سائلِه، عند درجةِ حرارةٍ معيّنة، هو الضغطُ البخاريُّ للسائل. ويغلي السائلُ عندَما يتساوى ضغطُهُ البخاريُّ مع الضغطِ الجوي. تُسمّى كمّيةُ الطاقةِ الحراريةِ اللازمةُ لتبخيرِ مولٍ واحدٍ من السائل، عند درجةِ غليانِه، الحرارةَ الموليةَ للتبخير.
- يتضمَّنُ تجمُّدُ السائلِ فقدًا للطاقةِ بشكلِ حرارة. والانصهارُ هو التغيُّرُ الفيزيائيُّ للمادةِ من حالةِ الصلابةِ إلى حالةِ السيولةِ بواسطةِ الحرارة. تُسمّى كمّيةُ الحرارةِ اللازمةُ لصهرِ مولٍ واحدٍ من الصلب، عند درجةِ انصهارِه، الحرارةَ الموليةَ للانصهار.

المفردات

الاتّزان (176) equilibrium
الترسيب (184) deposition
التصعيد (التسامي) (184) sublimation
التكثُّف (177) condensation
الحرارةُ الموليةُ للانصهار (184) molar heat of fusion
الحرارةُ الموليةُ للتبخير (182) molar heat of vaporisation
درجةُ التجمُّد (183) freezin point
درجةُ الغليان (181) boiling point
السوائلُ المتطايرة (181) volatile liquids
الضغطُ البخاري (179) the vapor pressure
الغليان (181) boiling
مبدأُ لو شاتيلييه (178) Le Chatelier's principle

ملخّص الفصل تابع

6-4
- الماءُ مركّبٌ تساهمي-قطبي. ولجزيءِ الماءِ شكلٌ زاويٌّ، وشحنةٌ سالبةٌ جزئيةٌ على ذرّةِ الأكسجينِ الذي فيه، وشحنةٌ موجبةٌ جزئيةٌ على ذرّتَيِ الهيدروجينِ الذي فيه.
- بنيةُ وأنواعُ روابطِ الماءِ التي يمكنُ تكوينُها مسؤولانِ عن ارتفاعِ كلٍّ من درجةِ غليانِهِ ودرجةِ انصهارِهِ وحرارتِهِ الموليةِ للتبخيرِ وحرارتِهِ الموليةِ للانصهار.
- تفسِّرُ بنيةُ الماءِ وروابطُهُ، كذلك، سببَ تمدُّدِ الماءِ، لدى تجمُّدِه، وسببُ طفوِ الثلجِ على الماءِ السائل.

مراجعةُ المفاهيم

1. ما المائع؟
2. ما التوتُّرُ السطحي؟
3. أعطِ سببَيْن يُعتبرُ بموجبِهما التبخُّرُ عمليةً مهمَّةً في الطبيعة.
4. عدِّدْ سبعَ خصائصَ للموادِّ الصلبة، واشرحْ كلاًّ منها وفقًا لنظريةِ الحركةِ الجزيئيةِ للموادِّ الصلبة.
5. أ. عدِّدْ أربعةَ أمثلةٍ على الموادِّ الصلبةِ اللابلّورية.
   ب. لماذا يصنَّفُ الزجاجُ أحيانًا كمادّةٍ فائقةِ التبريد؟
6. ميِّزْ بينَ كلٍّ من التركيبِ البلّوريِّ والشبكةِ البلّورية ووحدةِ الخلية.
7. أ. عدِّدِ الأنواعَ الأربعةَ للبلّوراتِ، على أساسِ طبيعةِ مكوِّناتِ جسيماتِها ونوعِ الترابطِ بينَها، ثم صِفْها.
   ب. ما الخصائصُ الفيزيائيةُ لكلِّ نوعٍ من أنواعِ البلّورات؟
8. وظِّفْ الشكل 6-12 لتقديرِ الضغطِ البخاريِّ التقريبي، لكلٍّ مما يلي، عندَ درجةِ حرارتهِ المبيَّنة.
   أ. ماءٌ عندَ درجةِ حرارة 40°C
   ب. ماءٌ عندَ درجةِ حرارة 80°C
   ج. إيثر ثنائيِّ الإيثيل عندَ درجةِ حرارة 20°C
   د. إيثانول عندَ درجةِ حرارة 60°C
9. أ. ما التصعيد (التسامي)؟
   ب. أعطِ مثالين على موادَّ شائعة تتسامى عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة.
10. ما المقصودُ بدرجةِ التجمُّدِ الاعتياديةِ لمادةٍ معيَّنة؟
11. اشرحْ سببَ زيادةِ الضغطِ البخاريِّ لسائلٍ معيَّن، مع ارتفاعِ درجةِ الحرارة.
12. اشرحِ العلاقةَ التي تربطُ قوى التجاذبِ بينَ جزيئاتِ سائل بضغطِهِ البخاري.
13. أ. اشرحِ العلاقةَ بين الضغطِ الجوّيِّ ودرجةِ غليانِ السائل.
    ب. ما العلاقةُ بينَ درجةِ حرارةِ السائل ودرجةِ حرارةِ بخارِه، في الفترةِ التي يستمرُّ فيها الغليان، عندَ ذلك الضغط؟
    ج. كيف تفسِّرُ هذه الظاهرة؟
14. اشرحِ العلاقةَ التي تربطُ كمّيةَ الحرارةِ الموليةِ لتبخيرِ سائل بقوةِ التجاذبِ بينَ جزيئاتِ ذلك السائل.
15. اشرحِ العلاقةَ التي تربطُ الحرارةَ الموليةَ لانصهارِ صلبٍ بقوّةِ التجاذبِ بينَ جسيماتِه.
16. صفْ بنيةَ جزيءِ الماء.
17. عدِّدْ ثمانيَ خصائصَ فيزيائيةٍ للماء.

مسائل

الحرارةُ المولية

18. أ. تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لتبخيرِ الماء 40.79 kJ/mol. عبِّرْ عن هذه الحرارةِ بوحدات J/g.
    ب. تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لانصهارِ الثلج 6.009 kJ/mol. عبِّرْ عن هذه الحرارةِ بـ J/g.

19. تبلغ الحرارةُ الموليةُ لتبخيرِ الماءِ 40.79 kJ/mol. ما الطاقةُ اللازمةُ لتبخيرِ ما يلي:
   أ. 5.00 mol من الماء.
   ب. 45.0 g من الماء.
   ج. 8.45×10^{10} جزيء ماء.

20. تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لانصهارِ الثلج 6.009 kJ/mol. كم يلزمُ من الطاقةِ لصهرِ ما يلي؟
   أ. 12.75 mol من الثلج.
   ب. 6.48×10^{5} kg من الثلج.

21. احسبِ الحرارةَ الموليةَ لتبخيرِ مادةٍ يمتصُّ كلُّ 0.433 mol منها 36.5 kJ من الطاقة عند التبخير.

22. إذا علمْتَ أن الكتلةَ الموليةَ لمادةٍ معيّنة 259.0 g/mol، وأن 71.8 g منها يمتصُّ 4.307 kJ عندَ انصهارِه، فاحسب ما يلي:
   أ. عددَ المولاتِ في عيّنةٍ كتلتُها 71.8 g من هذه المادة.
   ب. الحرارةَ الموليةَ للانصهار.

23. أ. احسبْ عددَ مولاتِ عيّنةٍ سائلةٍ من مادةٍ تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لانصهارِها 3.811 kJ/mol، مع العلمِ أنّ هذه العيّنَةَ تعطي 83.2 kJ من الطاقة لدى تجمُّدِها.
   ب. احسبِ الكتلةَ الموليةَ لهذه المادة، إذا كانَت كتلةُ العيّنة 5519 g.

الماء

24. أيٌّ من العيّنتَينِ التاليتَينِ تحتوي على جزيئاتِ ماءٍ أكثر: 5.00 cm^3 من الثلج عندَ درجةِ حرارة 0°C، أم 5.00 cm^3 من الماء عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها؟ بكم تزيدُ العيّنةُ الكبيرةُ العيّنةَ الصغيرةَ؟ ما النسبةُ بين عددَي جزيئاتِ العيّنتَينِ الواحدِ إلى الآخر؟

مراجعةٌ متنوعة

25. جِدْ قيمةَ الحرارةِ الموليةِ لتبخيرِ مادة، إذا علمْتَ أن 3.21 mol منها يمتصُّ 28.4 kJ من الطاقة عندَما تتحوَّلُ من حالةِ السيولةِ إلى الحالةِ الغازيّة.

26. تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لانصهارِ الثلج 6.009 kJ/mol. احسبْ كميّةَ الطاقةِ اللازمةَ لصهرِ 7.95×10^{5} g من الثلج.

27. تبلغُ الحرارةُ الموليةُ لتبخيرِ مادة 31.6 kJ/mol. ما كميّةُ المادةِ في العيّنةِ التي يحتاجُ تبخيرُها إلى 57.0 kJ؟

28. إذا علمْتَ أن الحرارةَ الموليةَ لتبخيرِ الماء هي 40.79 kJ/mol، فكم جرامًا من الماءِ يتبخَّرُ عندَ إعطاءِ كمِّيةِ طاقةٍ مقدارها 0.545 kJ؟

29. احسبْ كمّيةَ الطاقةِ الناتجة من تجمُّدِ 13.3 g من مادةٍ سائلةٍ إذا علمْتَ أن الكتلةَ الموليةَ لهذه المادةِ 82.9 g/mol والحرارةَ الموليةَ للانصهارِ 4.60 kJ/mol.

30. نظامُ السائلِ-البخارِ التالي في حالةِ اتّزانٍ عندَ درجةِ حرارةٍ معيَّنة، ضمنَ نظامِه المغلق:

$$H_2O(l) + \text{طاقة حرارية} \rightleftarrows H_2O(g)$$

افترض أن درجةَ الحرارةِ قد ارتفعَت، وتحقَّقَ الاتزانُ عندَ درجةِ حرارةٍ أعلى، فما تأثيرُ هذا التغيُّرِ على كلٍّ مما يلي:
   أ. معدَّلِ التبخُّر.
   ب. معدَّلِ التكثُّف.
   ج. التركيزِ النهائيِّ لجزيئاتِ البخار.
   د. العددِ النهائيِّ لجزيئاتِ السائل.

31. ماذا يحدثُ لدرجةِ حرارةِ النظامِ المتَّزن (سائل-بخار)، لدى تعرُّضِه للمؤثِّراتِ التالية:
   أ. زيادةٍ في المعدَّلِ النهائيِّ للتبخير.
   ب. زيادةٍ في التركيزِ النهائيِّ للبخار.
   ج. زيادةٍ في المعدَّلِ النهائيِّ للتكثُّف.
   د. زيادةٍ في العددِ النهائيِّ لجزيئاتِ السائل.

تفكير ناقد

32. **تطبيقُ أفكار:** اشرحْ دورَ التعرُّقِ في تلطيفِ حرارةِ الجسم.

33. **تفسيرُ مفاهيم:** عندَ تجمُّدِ مادة، تُفقدُ طاقةٌ من هذه المادة، في الوقتِ الذي تبقى فيه درجةُ حرارةِ نظامِ السائلِ-الصلب دونَ تغيير. وضِّحْ هذه الظاهرة.

34. **تطبيقُ نماذج:** تبقى درجةُ حرارةِ نظامِ ثلج-ماء ثابتةً عند درجةِ حرارة 0°C، تحت الضغطِ الجوّيِّ الاعتيادي. بغضِّ النظرِ عن درجةِ حرارةِ المحيط، وضِّحْ هذه الحقيقةَ في ضوءِ مبدأ لو شاتيلييه.

35. كيف تفسِّرُ ارتفاعَ حرارةِ تبخيرِ مادّةٍ، عن حرارةِ انصهارِها.

36. **تفسيرُ مفاهيم:** الميثان CH_4، الذي يشبهُ الماءَ في الحجمِ الجزيئيِّ والكتلة، يكونُ غازًا عندَ درجةِ حرارةِ الغرفة، بينما يكونُ الماءُ سائلاً عندَ هذه الدرجة. وضّحِ السبب.

بحثٌ وكتابة

37. يتكوّنُ السيراميك من السليكاتِ الموجودِ في التربة. والفنّانون يستخدمونَهُ في صناعةِ الفخّارِ والخزفيات. لكنَّ المهندسين والعلماءَ يصنَعون من السيراميك موادَّ فائقةَ التوصيل. (ابحثْ في مجالِ الموصِّلاتِ السيراميكيةِ الفائقة وتطبيقاتِها المتزايدة)

38. البلّوراتُ السائلة liquid crystal موادُّ تجمعُ كلاًّ من خصائصِ السائلِ والصلبِ البلوري. اكتبْ تقريرًا عن هذه الموادّ، وتطبيقاتِها المختلفة.

تقويمٌ بديل

39. أعدَّ قائمةً بالموادِّ الصلبةِ البلّورية واللاّبلّورية الموجودةِ في البيت. قارنْ قائمتك بالقوائمِ التي أعدَّتْها مجموعاتُ الصف.

40. صمِّمْ تجربةَ إنماءِ بلّوراتٍ من موادَّ بيتيةٍ شائعةٍ وآمنة. ثبّتِ الظروفَ المثلى لنموِّ هذه البلّورات.

الجدول الدوري

الجدولُ الدوريُّ للعناصر

الفلزّات

- الفلزات القلوية
- الفلزات القلويةُ الأرضية
- الفلزات الانتقالية
- فلزات أخرى

أشباهُ الفلزّات

- أشباهُ الموصلات

اللافلزّات

- الهالوجينات
- اللافلزاتُ الأخرى
- الغازات النبيلة

الدورات	المجموعة 10	المجموعة 11	المجموعة 12	المجموعة 13	المجموعة 14	المجموعة 15	المجموعة 16	المجموعة 17	المجموعة 18
1									2 **He** Helium 4.002602 $1s^2$
2				5 **B** Boron 10.811 $[He]2s^22p^1$	6 **C** Carbon 12.011 $[He]2s^22p^2$	7 **N** Nitrogen 14.00674 $[He]2s^22p^3$	8 **O** Oxygen 15.9994 $[He]2s^22p^4$	9 **F** Fluorine 18.9984032 $[He]2s^22p^5$	10 **Ne** Neon 20.1797 $[He]2s^22p^6$
3				13 **Al** Aluminum 26.981539 $[Ne]3s^23p^1$	14 **Si** Silicon 28.0855 $[Ne]3s^23p^2$	15 **P** Phosphorus 30.9738 $[Ne]3s^23p^3$	16 **S** Sulfur 32.066 $[Ne]3s^23p^4$	17 **Cl** Chlorine 35.4527 $[Ne]3s^23p^5$	18 **Ar** Argon 39.948 $[Ne]3s^23p^6$
4	28 **Ni** Nickel 58.6934 $[Ar]3d^84s^2$	29 **Cu** Copper 63.546 $[Ar]3d^{10}4s^1$	30 **Zn** Zinc 65.39 $[Ar]3d^{10}4s^2$	31 **Ga** Gallium 69.723 $[Ar]3d^{10}4s^24p^1$	32 **Ge** Germanium 72.61 $[Ar]3d^{10}4s^24p^2$	33 **As** Arsenic 74.92159 $[Ar]3d^{10}4s^24p^3$	34 **Se** Selenium 78.96 $[Ar]3d^{10}4s^24p^4$	35 **Br** Bromine 79.904 $[Ar]3d^{10}4s^24p^5$	36 **Kr** Krypton 83.80 $[Ar]3d^{10}4s^24p^6$
5	46 **Pd** Palladium 106.42 $[Kr]4d^{10}5s^0$	47 **Ag** Silver 107.8682 $[Kr]4d^{10}5s^1$	48 **Cd** Cadmium 112.411 $[Kr]4d^{10}5s^2$	49 **In** Indium 114.818 $[Kr]4d^{10}5s^25p^1$	50 **Sn** Tin 118.710 $[Kr]4d^{10}5s^25p^2$	51 **Sb** Antimony 121.757 $[Kr]4d^{10}5s^25p^3$	52 **Te** Tellurium 127.60 $[Kr]4d^{10}5s^25p^4$	53 **I** Iodine 126.904 $[Kr]4d^{10}5s^25p^5$	54 **Xe** Xenon 131.29 $[Kr]4d^{10}5s^25p^6$
6	78 **Pt** Platinum 195.08 $[Xe]4f^{14}5d^96s^1$	79 **Au** Gold 196.96654 $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^1$	80 **Hg** Mercury 200.59 $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^2$	81 **Tl** Thallium 204.3833 $[Xe]4f^{14}5d^{10}6p^1$	82 **Pb** Lead 207.2 $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$	83 **Bi** Bismuth 208.98037 $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^3$	84 **Po** Polonium (208.9824) $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$	85 **At** Astatine (209.9871) $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$	86 **Rn** Radon (222.0176) $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$
7	110 **Uun*** Ununnilium (269)** $[Rn]5f^{14}6d^97s^1$	111 **Uuu*** Unununium (272)** $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^1$	112 **Uub*** Ununbium (277)** $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^2$	113	114 **Uuq*** Ununquadium (285)** $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^27p^2$	115	116 **Uuh*** Ununhexium (289)** $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^27p^4$	117	118 **Uuo*** Ununoctium (293)** $[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^27p^6$

63 **Eu** Europium 151.966 $[Xe]4f^76s^2$	64 **Gd** Gadolinium 157.25 $[Xe]4f^75d^16s^2$	65 **Tb** Terbium 158.92534 $[Xe]4f^96s^2$	66 **Dy** Dysprosium 162.50 $[Xe]4f^{10}6s^2$	67 **Ho** Holmium 164.930 $[Xe]4f^{11}6s^2$	68 **Er** Erbium 167.26 $[Xe]4f^{12}6s^2$	69 **Tm** Thulium 168.93421 $[Xe]4f^{13}6s^2$	70 **Yb** Ytterbium 173.04 $[Xe]4f^{14}6s^2$	71 **Lu** Lutetium 174.967 $[Xe]4f^{14}5d^16s^2$
95 **Am** Americium (243.0614) $[Rn]5f^77s^2$	96 **Cm** Curium (247.0703) $[Rn]5f^76d^17s^2$	97 **Bk** Berkelium (247.0703) $[Rn]5f^97s^2$	98 **Cf** Californium (251.0796) $[Rn]5f^{10}7s^2$	99 **Es** Einsteinium (252.083) $[Rn]5f^{11}7s^2$	100 **Fm** Fermium (257.0951) $[Rn]5f^{12}7s^2$	101 **Md** Mendelevium (258.10) $[Rn]5f^{13}7s^2$	102 **No** Nobelium (259.1009) $[Rn]5f^{14}7s^2$	103 **Lr** Lawrencium 262.11 $[Rn]5f^{14}6d^17s^2$

الدليل:

6	العددُ الذرّيّ
C	الرمز
Carbon	الاسم
12.011	متوسطُ الكتلةِ الذرية
$[He]2s^{2}2p^{2}$	الترتيبُ الإلكترونيّ

الدورات	المجموعة 1	المجموعة 2	المجموعة 3	المجموعة 4	المجموعة 5	المجموعة 6	المجموعة 7	المجموعة 8	المجموعة 9
1	1 H Hydrogen 1.00794 $1s^{1}$								
2	3 Li Lithium 6.941 $[He]2s^{1}$	4 Be Beryllium 9.012182 $[He]2s^{2}$							
3	11 Na Sodium 22.989768 $[Ne]3s^{1}$	12 Mg Magnesium 24.3050 $[Ne]3s^{2}$							
4	19 K Potassium 39.0983 $[Ar]4s^{1}$	20 Ca Calcium 40.078 $[Ar]4s^{2}$	21 Sc Scandium 44.955910 $[Ar]3d^{1}4s^{2}$	22 Ti Titanium 47.88 $[Ar]3d^{2}4s^{2}$	23 V Vanadium 50.9415 $[Ar]3d^{3}4s^{2}$	24 Cr Chromium 51.9961 $[Ar]3d^{5}4s^{1}$	25 Mn Manganese 54.93805 $[Ar]3d^{5}4s^{2}$	26 Fe Iron 55.847 $[Ar]3d^{6}4s^{2}$	27 Co Cobalt 58.93320 $[Ar]3d^{7}4s^{2}$
5	37 Rb Rubidium 85.4678 $[Kr]5s^{1}$	38 Sr Strontium 87.62 $[Kr]5s^{2}$	39 Y Yttrium 88.90585 $[Kr]4d^{1}5s^{2}$	40 Zr Zirconium 91.224 $[Kr]4d^{2}5s^{2}$	41 Nb Niobium 92.90638 $[Kr]4d^{4}5s^{1}$	42 Mo Molybdenum 95.94 $[Kr]4d^{5}5s^{1}$	43 Tc Technetium (97.9072) $[Kr]4d^{6}5s^{1}$	44 Ru Ruthenium 101.07 $[Kr]4d^{7}5s^{1}$	45 Rh Rhodium 102.906 $[Kr]4d^{8}5s^{1}$
6	55 Cs Cesium 132.90543 $[Xe]6s^{1}$	56 Ba Barum 137.327 $[Xe]6s^{2}$	57 La Lanthanum 138.9055 $[Xe]5d^{1}6s^{2}$	72 Hf Hafnium 178.49 $[Xe]4f^{14}5d^{2}6s^{2}$	73 Ta Tantalum 180.9479 $[Xe]4f^{14}5d^{3}6s^{2}$	74 W Tungsten 183.84 $[Xe]4f^{14}5d^{4}6s^{2}$	75 Re Rhenium 186.207 $[Xe]4f^{14}5d^{5}6s^{2}$	76 Os Osmium 190.23 $[Xe]4f^{14}5d^{6}6s^{2}$	77 Ir Iridium 192.22 $[Xe]4f^{14}5d^{7}6s^{2}$
7	87 Fr Francium (223.0197) $[Rn]7s^{1}$	88 Ra Radium (226.0254) $[Rn]7s^{2}$	89 Ac Actinium (227.0278) $[Rn]6d^{1}7s^{2}$	104 Rf Rutherfordium (261.11) $[Rn]5f^{14}6d^{2}7s^{2}$	105 Db Dubnium (262.114) $[Rn]5f^{14}6d^{3}7s^{2}$	106 Sg Seaborgium (263.118) $[Rn]5f^{14}6d^{4}7s^{2}$	107 Bh Bohrium (262.12) $[Rn]5f^{14}6d^{5}7s^{2}$	108 Hs Hassium (265)** $[Rn]5f^{14}6d^{6}7s^{2}$	109 Mt Meitnerium (265)** $[Rn]5f^{14}6d^{7}7s^{2}$

58 Ce Cerium 140.115 $[Xe]4f^{1}5d^{1}6s^{2}$	59 Pr Praseodymium 140.908 $[Xe]4f^{3}6s^{2}$	60 Nd Neodymium 144.24 $[Xe]4f^{4}6s^{2}$	61 Pm Promethium (144.9127) $[Xe]4f^{5}6s^{2}$	62 Sm Samarium 150.36 $[Xe]4f^{6}6s^{2}$
90 Th Thorium 232.0381 $[Rn]6d^{2}7s^{2}$	91 Pa Protactinium 231.03588 $[Rn]5f^{2}6d^{1}7s^{2}$	92 U Uranium 238.0289 $[Rn]5f^{3}6d^{1}7s^{2}$	93 Np Neptunium (237.0482) $[Rn]5f^{4}6d^{1}7s^{2}$	94 Pu Plutonium 244.0642 $[Rn]5f^{6}7s^{2}$

* أسماءٌ مؤقتةٌ لم يتمَّ التوافُق عليها من قِبلِ IUPAC

** مقدّرةٌ وفقًا لمعطياتِ IUPAC المتوفرةِ حاليًّا

الجدول (أ-1) قياسات النظام الدولي SI

البادئات المترية

البادئة	الرمز	معامل الوحدة الأساس
جيغا	G	1 000 000 000
ميغا	M	1 000 000
كيلو	k	1 000
هيكتو	h	100
ديكا	da	10
دسّي	d	0.1
سنتي	c	0.01
ملّي	m	0.001
ميكرو	µ	0.000 001
نانو	n	0.000 000 001
بيكو	p	0.000 000 000 001

الكتلة

1 كيلوجرام (kg)	= وحدة الكتلة الأساس للنظام الدولي (SI)
1 جرام (g)	0.001 kg =
1 مليجرام (mg)	0.000 001 kg =
1 ميكروجرام (µg)	0.000 000 001 kg =

الطول

1 كيلومتر (km)	1000 m =
1 متر (m)	= وحدة الطول الأساس للنظام الدولي (SI)
1 سنتيمتر (cm)	0.01 m =
1 مليمتر (mm)	0.001 m =
1 ميكرومتر (µm)	0.000 001 m =
1 نانومتر (nm)	0.000 000 001 m =
1 بيكومتر (pm)	0.000 000 000 001 m =

المساحة

1 كيلومتر مربع (km^2)	= 100 هكتار (ha)
1 هكتار (ha)	= 10 000 متر مربع (m^2)
1 متر مربع (m^2)	= 10 000 سنتيمتر مربع (cm^2)
1 سنتيمتر مربع (cm^2)	= 100 مليمتر مربع (mm^2)

الحجم

1 لتر (L)	= وحدة شائعة الاستعمال لأحجام السوائل (وهي ليست من وحدات SI)
1 متر مكعب (m^3)	1000 L =
1 كيلولتر (kL)	1000 L =
1 مليلتر (mL)	0.001 L =
1 مليلتر (mL)	= 1 سنتيمتر مكعب (cm^3)

الجدول (أ-2) الثوابت الفيزيائية

الكمية	الرمز	القيمة
وحدة الكتلة الذرّية	amu	$1.660\,5402 \times 10^{-27}$ kg
عدد أفوجادرو	N_A	$6.022\,137 \times 10^{23}$/mol
كتلة الإلكترون الساكن	m_e	$9.109\,3897 \times 10^{-31}$ kg 5.4858×10^{-4} amu
ثابت الغاز المثالي	R	8.314 L • kPa/mol • K 0.0821 L • atm/mol • K
الحجم المولي للغاز المثالي عند شروط STP	V_M	22.414 10 L/mol
كتلة النيوترون الساكن	m_n	$1.674\,9286 \times 10^{-27}$ kg 1.008 665 amu
درجة غليان الماء الاعتيادية	T_b	373.15 K = 100.0°C
درجة تجمد الماء الاعتيادية	T_f	273.15 K = 0.00°C
ثابت بلانك	h	$6.626\,076 \times 10^{-34}$ J • s
كتلة البروتون الساكن	m_p	$1.672\,6231 \times 10^{-27}$ kg 1.007 276 amu
سرعة الضوء في الفراغ	c	$2.997\,924\,58 \times 10^{8}$ m/s
درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء		273.16 K = 0.01°C

الجدول (أ-3) العناصر: رموزها، أعدادها، كتلتها الذرّية

اسم العنصر	الرمز	العدد الذرّي	الكتلة الذرّية
إتريوم	Y	39	88.90585
إربيوم	Er	68	167.26
أرجون	Ar	18	39.948
إريديوم	Ir	77	192.22
أزميوم	Os	76	190.23
أستاتين	At	85	[209.9871]
أكتينيوم	Ac	89	[227.0278]
أكسجين	O	8	15.9994
ألمنيوم	Al	13	26.981539
أمريسيوم	Am	95	[243.0614]
أنتيمون	Sb	51	121.757
إنديوم	In	49	114.818
إيتيربيوم	Yb	70	173.04
إينشتينيوم	Es	99	[252.083]
باريوم	Ba	56	137.327
براسوديميوم	Pr	59	140.908
بركليوم	Bk	97	[247.0703]
بروم	Br	35	79.904
بريليوم	Be	4	9.012182
بزموت	Bi	83	208.98037
بلاتين	Pt	78	195.08
بلاديوم	Pd	46	106.42
بلوتونيوم	Pu	94	[244.0642]
بوتاسيوم	K	19	39.0983
بورون	B	5	10.811
بوريوم	Bh	107	[262.12]
بولونيوم	Po	84	[208.9824]
تربيوم	Tb	65	158.92534
تكنشيوم	Tc	43	[97.9072]
تلوريوم	Te	52	127.60
تنتاليوم	Ta	73	180.9479
تنجستن	W	74	183.84
تيتانيوم	Ti	22	47.88
ثاليوم	Tl	81	204.3833
ثوريوم	Th	90	232.0381
ثوليوم	Tm	69	168.93421
جادولينيوم	Gd	64	157.25
جاليوم	Ga	31	69.723
جرمانيوم	Ge	32	72.61
حديد	Fe	26	55.847
خارصين	Zn	30	65.39
دوبنيوم	Db	105	[262.114]
ديسبروسيوم	Dy	66	162.50
ذهب	Au	79	196.96654
رادون	Rn	86	[222.0176]
راديوم	Ra	88	[226.0254]
رصاص	Pb	82	207.2
رنيوم	Re	75	186.207
روبيديوم	Rb	37	85.4678
روثرفورديوم	Rf	104	[261.11]
روثينيوم	Ru	44	101.07
روديوم	Rh	45	102.906
زئبق	Hg	80	200.59
زركونيوم	Zr	40	91.224
زرنيخ	As	33	74.92159
زنون	Xe	54	131.29
ساماريوم	Sm	62	150.36
سترنشيوم	Sr	38	87.62
سكانديوم	Sc	21	44.955910
سيليكون	Si	14	28.0855
سلينيوم	Se	34	78.96
سيبورجيوم	Sg	106	[263.118]
سيريوم	Ce	58	140.115
سيزيوم	Cs	55	132.90543
صوديوم	Na	11	22.989768
فرانسيوم	Fr	87	[223.0197]
فرميوم	Fm	100	[257.0951]
فضة	Ag	47	107.8682
فلور	F	9	18.998403
فناديوم	V	23	50.9415
فوسفور	P	15	30.9738
قصدير	Sn	50	118.710
كادميوم	Cd	48	112.411
كالسيوم	Ca	20	40.078
كاليفورنيوم	Cf	98	[251.0796]
كبريت	S	16	32.066
كربتون	Kr	36	83.80
كربون	C	6	12.011
كروم	Cr	24	51.9961
كلور	Cl	17	35.4527
كوبالت	Co	27	58.93320
كوريوم	Cm	96	[247.0703]
لنثانيوم	La	57	138.9055
لوتشيوم	Lu	71	174.967

الجدول (أ-3) تابع

اسم العنصر	الرمز	العدد الذرّي	الكتلة الذرّية
ليثيوم	Li	3	6.941
لورنسيوم	Lr	103	[262.11]
مغنيسيوم	Mg	12	24.3050
مندلفيوم	Md	101	[258.10]
منجنيز	Mn	25	54.93805
موليبدنوم	Mo	42	95.94
ميتنريوم	Mt	109	[266]
نبتونيوم	Np	93	[237.0482]
نحاس	Cu	29	63.546
نوبليوم	No	102	[259.1009]
نيتروجين	N	7	14.00674
نيكل	Ni	28	58.6934
نيوبيوم	Nb	41	92.90638
نيوديميوم	Nd	60	144.24
نيون	Ne	10	20.1797
هسيوم	Hs	108	[265]
هفنيوم	Hf	72	178.49
هولميوم	Ho	67	164.930
هيدروجين	H	1	1.00794
هيليوم	He	2	4.002602
يروبيوم	Eu	63	151.966
يود	I	53	126.904
يورانيوم	U	92	238.0289

القيمُ المعطاةُ بين قوسين تمثلُ العددَ الكتليَّ لمعظمِ العناصرِ المستقرةِ أو النظائرِ الأكثرِ شيوعًا. الكتَلُ الذرّيةُ لمعظمِ العناصرِ تحتوي على خطأ لا يزيدُ عن ±1 في المرتبةِ الأخيرةِ المعطاة.

الجدول (أ-4) الأيونات الشائعة

الكاتيون	الرمز	الأنيون	الرمز
ألمنيوم	Al^{3+}	أسيتات	CH_3COO^-
أمونيوم	NH_4^+	أكسيد	O^{2-}
باريوم	Ba^{2+}	بروميد	Br–
بوتاسيوم	K^+	بيركلورات	ClO_4^-
تيتانيوم (III)	Ti^{3+}	بيرمنجنات	MnO_4^-
تيتانيوم (IV)	Ti^{4+}	بيروكسيد	O_2^{2-}
حديد (II)	Fe^{2+}	ثنائي الكرومات	$Cr_2O_7^{2-}$
حديد (III)	Fe^{3+}	سادس سيانو الحديد (II)	$Fe(CN)_6^{4-}$
خارصين	Zn^{2+}	سادس سيانو الحديد (III)	$Fe(CN)_6^{3-}$
رصاص (II)	Pb^{2+}	سيانيد	CN^-
زئبق (I)	Hg_2^{2+}	فلوريد	F^-
زئبق (II)	Hg^{2+}	فوسفات	PO_4^{3-}
زرنيخ (III)	As^{3+}	كبريتات	SO_4^{2-}
سترنشيوم	Sr^{2+}	كبريتات هيدروجينية	HSO_4^-
صوديوم	Na^+	كبريتيت	SO_3^{2-}
فضة	Ag^+	كبريتيد	S^{2-}
قصدير (II)	Sn^{2+}	كربونات	CO_3^{2-}
قصدير (IV)	Sn^{4+}	كربونات هيدروجينية	HCO_3^-
كالسيوم	Ca^{2+}	كرومات	CrO_4^{2-}
كروم (II)	Cr^{2+}	كلورات	ClO_3^-
كروم (III)	Cr^{3+}	كلوريت	ClO_2^-
كوبالت (II)	Co^{2+}	كلوريد	Cl^-
كوبالت (III)	Co^{3+}	نيترات	NO_3^-
مغنيسيوم	Mg^{2+}	نيتريت	NO_2^-
نحاس (I)	Cu^+	هيبوكلوريت	ClO^-
نحاس (II)	Cu^{2+}	هيدروكسيد	OH^-
نيكل (II)	Ni^{2+}	هيدريد	H^-
هيدرونيوم	H_3O^+	يوديد	I^-

الجدول (أ-5) خصائصُ العناصرِ الشائعة

الاسم	الشكل/اللون عند درجةِ حرارةِ الغرفة	الكثافة (g/cm³)*	نقطةُ الانصهار (°C)	نقطةُ الغليان (°C)	حالاتُ الأكسدةِ الشائعة
أكسجين	غازٌ لا لونَ له	1.429*	−218.4	−182.962	2−
ألمنيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	2.702	660.37	2467	3+
باريوم	فلزٌّ أبيضُ مائلٌ إلى الزرقة	3.51	725	1640	2+
بروم	سائلٌ أحمرُ-بنيُّ اللون	3.119	−7.2	58.78	1–، 1+، 3+، 5+، 7+
بلاتين	فلزٌّ فضيٌّ اللون	21.45	1772	3827±100	2+، 4+
بوتاسيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	0.86	63.25	760	1+
تيتانيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	4.5	1660±10	3287	2+، 3+، 4+
جرمانيوم	شبهُ فلزٍّ رماديُّ اللون	5.323^{25}	937.4	2830	4+
حديد	فلزٌّ فضيٌّ اللون	7.86	1535	2750	2+، 3+
خارصين	فلزٌّ أبيضُ-أزرقُ اللون	7.14	419.58	907	2+
ذهب	فلزٌّ أصفرُ اللون	19.31	1064.43	2808±2	1+، 3+
رصاص	فلزٌّ أبيضُ مائلٌ إلى الزرقة	11.343716	327.502	1740	2+، 4+
زرنيخ	شبهُ فلزٍّ رماديُّ اللون	5.727^{14}	817 (28 atm)	613	3–، 3+، 5+
زئبق	فلزٌّ سائلٌ فضيٌّ اللون	13.5462	−38.87	356.58	1+، 2+
سترنشيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	2.6	769	1384	2+
سيليكون	شبهُ فلزٍّ رماديُّ اللون	2.33±0.01	1410	2355	2+، 4+
صوديوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	0.97	97.8	882.9	1+
فضة	فلزٌّ أبيضُ اللون	10.5	961.93	2212	1+
فلور	غازٌ أصفرُ اللون	1.69•	−219.62	−188.14	1–
فوسفور	صلبٌ أصفرُ اللون	1.82	44.1	280	3–، 3+، 5+
قصدير	فلزٌّ أبيضُ اللون	7.28	231.88	2260	2+، 4+
كالسيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	1.54	839±2	1484	2+
كبريت	صلبٌ أصفرُ اللون	1.96	119.0	444.674	2–، 4+، 6+
كربون	ألماس	3.51	3500 (36.5 atm)	3930	2+، 4+
	جرافيت	2.25	3652		
كروم	فلزٌّ رماديُّ اللون	7.2028	1857±20	2672	2+، 3+، 6+
كلور	غازٌ أخضرُ-أصفرُ اللون	3.214*	−100.98	−34.6	1–، 1+، 3+، 5+، 7+
كوبالت	فلزٌّ رماديُّ اللون	8.9	1495	2870	2+، 3+
ليثيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	0.534	180.54	1342	1+
مغنيسيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	1.745	648.8	1107	2+
منجنيز	فلزٌّ أبيضُ-رماديُّ اللون	7.20	1244±3	1962	2+، 3+، 4+، 6+، 7+
نحاس	فلزٌّ أحمرُ اللون	8.92	1083.4±0.2	2567	1+، 2+
نيتروجين	غازٌ لا لونَ له	1.2506*	−209.86	−195.8	3–، 3+، 5+
نيكل	فلزٌّ فضيٌّ اللون	8.90	1455	2730	2+، 3+
نيون	غازٌ لا لونَ له	0.9002*	−248.67	−245.9	0
هيدروجين	غازٌ لا لونَ له	0.0899*	−259.34	−252.8	1–، 1+
هيليوم	غازٌ لا لونَ له	0.1785*	−272.2 (26 atm)	−268.9	0
يود	صلبٌ أسودُ-أزرقُ اللون	4.93	113.5	184.35	1–، 1+، 3+، 5+، 7+
يورانيوم	فلزٌّ فضيٌّ اللون	19.05 ± 0.02^{25}	1132.3±0.8	3818	3+، 4+، 6+

* كثافاتٌ معطاةٌ عند درجةِ الحرارةِ 20°C.
• كثافةُ الفلور معطاةٌ بـ g/L تحت ضغط 1 atm وعند درجةِ الحرارةِ 15°C.
* كثافاتُ الغازاتِ معطاةٌ بـ g/L تحت شروطِ STP.

الجدول (أ-6) الضغط البخاري للماء

درجة الحرارة (°C)	الضغط (mm Hg)	الضغط (kPa)
0.0	4.6	0.61
5.0	6.5	0.87
10.0	9.2	1.23
15.0	12.8	1.71
15.5	13.2	1.76
16.0	13.6	1.82
16.5	14.1	1.88
17.0	14.5	1.94
17.5	15.0	2.00
18.0	15.5	2.06
18.5	16.0	2.13
19.0	16.5	2.19
19.5	17.0	2.27
20.0	17.5	2.34
20.5	18.1	2.41
21.0	18.6	2.49
21.5	19.2	2.57
22.0	19.8	2.64
22.5	20.4	2.72
23.0	21.1	2.81
23.5	21.7	2.90
24.0	22.4	2.98
24.5	23.1	3.10
25.0	23.8	3.17
26.0	25.2	3.36
27.0	26.7	3.57
28.0	28.3	3.78
29.0	30.0	4.01
30.0	31.8	4.25
35.0	42.2	5.63
40.0	55.3	7.38
50.0	92.5	12.34
60.0	149.4	19.93
70.0	233.7	31.18
80.0	355.1	47.37
90.0	525.8	70.12
95.0	633.9	84.53
100.0	760.0	101.32

الجدول (أ-7) كثافة الغازات تحت شروط STP

الغاز	الكثافة (g/L)
أكسجين	1.429
أمونيا	0.771
أول أكسيد الكربون	1.250
أول أكسيد النيتروجين (عند درجة حرارة 10°C)	1.340
أول أكسيد النيتروجين الثنائي	1.977
إيثين	1.165
ثاني أكسيد الكبريت	2.927
ثاني أكسيد الكربون	1.997
كبريتيد الهيدروجين	1.539
كلور	3.214
كلوريد الهيدروجين	1.639
ميثان	0.7168
نيتروجين	1.2506
هواء جاف	1.293
هيدروجين	0.0899
هيليوم	0.1785

الجدول (أ-8) كثافة الماء

درجة الحرارة (°C)	الكثافة (g/cm^3)
0	0.999 84
2	0.999 94
3.98 (حد أقصى)	0.999 973
4	0.999 97
6	0.999 94
8	0.999 85
10	0.999 70
14	0.999 24
16	0.998 94
20	0.998 20
25	0.997 05
30	0.995 65
40	0.992 22
50	0.988 04
60	0.983 20
70	0.977 77
80	0.971 79
90	0.965 31
100	0.958 36

المفردات

أ

أعدادُ الأكسدة oxidation numbers
أعدادٌ تُشتقُّ من حالةِ أكسدةِ الذرّاتِ أو الأيوناتِ في مركّب، ويعتمدُها نظامُ ستوك في التسمية. (20)

الأنيوناتُ الأكسيجينية oxyanions
أنيوناتٌ متعددةُ الذرّاتِ تحتوي على أكسجين. (13)

الأيوناتُ أحاديةُ الذرّة monatomic ions
أيوناتٌ مُكوّنةٌ من ذرّةٍ واحدة. (8)

الاتّزان equilibrium
حالةٌ ديناميكيّةٌ يحصلُ فيها تغيُّرانِ متعاكسانِ بسرعتَين متساويتَين في نظامٍ مغلق. (166)

الانتشار diffusion
مزجٌ تلقائيٌّ لجسيماتِ مادّتَين تسبِّبُهُ حركةُ هذه الجسيماتِ العشوائية. (101)

الانصهار melting
تغيّرٌ فيزيائيٌّ يحوِّلُ مادةً صلبةً إلى سائلة بإضافةِ الحرارة. (162)

ب

البارومتر barometer
جهازٌ يستخدمُ لقياسِ الضغطِ الجوي. (106)

باسكال pascal
الضغطُ الذي تؤثِّرُ به قوةُ نيوتن واحد على مساحةِ متر مربَّعٍ واحد. (107)

البلّورة crystal
مادةٌ تترتَّبُ فيها الجسيماتُ بشكلٍ هندسيٍّ منظَّم، وعلى نسقٍ تكراري. (162)

ت

التحليلُ الكهربائيّ electrolysis
تفكُّكُ مادةٍ معيَّنةٍ في محلولٍ أو مصهورٍ عند إمرارِ التيارِ الكهربائي فيه. (63)

التسمية nomenclature
نظامٌ لتسميةِ العناصرِ والمركّباتِ الكيميائية. (10)

تفاعلُ الاتحاد synthesis reaction
مادتانِ، أو أكثرُ، تتفاعلانِ لتكوينِ مركّبٍ جديد. (60)

تفاعلُ الاحتراق combustion reaction
اتحادُ مادةٍ مع الأكسجين وتحريرُ طاقةٍ على شكلِ حرارةٍ وضوء. (66)

تفاعلُ الإزاحة أو الاستبدال displacement reaction
تفاعلُ استبدالِ عنصر، أو أكثرَ، بما يشبهُهُ من عناصرِ مركّبٍ معيّن. (64)

التفاعلُ الانعكاسيّ reversible reaction
تفاعلٌ كيميائيٌّ تُعيدُ نواتجُهُ أو ناتجُهُ تكوينَ المتفاعلاتِ الأساسية. (51)

تفاعلُ الاستبدالِ الأحادي single replacement reaction
تفاعلٌ كيميائيٌّ يُستبدَلُ فيه عنصرٌ من مركّبٍ بعنصرٍ آخرَ. (64)

تفاعلُ الاستبدالِ الثنائي double replacement reaction
تبادلُ الأيوناتِ بين مركّبينِ مختلفينِ لتكوينِ مركّبينِ جديدين. (65)

تفاعلُ التفكُّكِ أو الانحلال decomposition reaction
تفاعلٌ متفاعلٍ واحدٍ ينتُجُ عنهُ مادتانِ، أو أكثرُ، أقلُّ تعقيدًا. (62)

تفاعلُ التكوين composition reaction
التفاعلُ بين مادتينِ أو أكثرَ لتكوينِ مركّبٍ جديد. (60)

التبخُّر evaporation
عمليةٌ تفلتُ بواسطتِها الجسيماتُ من سطحِ سائلٍ قبل الغليان وتدخلُ في الحالةِ الغازية. (159)

التبخير vaporization
عمليةٌ تتحوَّلُ بواسطتِها مادةٌ سائلةٌ أو صلبةٌ إلى غاز. (159)

التجمُّد freezing
تغيُّرٌ فيزيائيٌّ لمادةٍ سائلةٍ إلى صلبة بإزالةِ الحرارة. (160)

التدفّق effusion
عمليةٌ تمرُّ بواسطتِها جسيماتُ الغازِ عبرَ فتحةٍ ضيّقة. (101)

الترسيب deposition
التغيُّرُ من الحالةِ الغازيةِ إلى الصلبة، دون المرورِ في الحالة السائلة. (174)

التركيبُ البلّوري crystal structure
الترتيبُ الكلّيُّ الثلاثيُّ الأبعاد لجزيئاتِ البلورة. (163)

التصادمُ المرن elastic collision
تصادمٌ بينَ جسيماتِ الغازِ نفسِها وبينَ جسيماتِ الغازِ وجدارِ الإناءِ لا ينقصُ في أثنائِهِ أيُّ طاقةٍ حركية. (99)

التصعيد (التسامي) sublimation
التغيُّرُ من الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ الغازية، دونَ المرورِ في الحالةِ السائلة. (174)

المفردات

التكثُّف condensation
عمليةٌ تتغيّرُ بواسطتِها حالةُ أحد الغازاتِ إلى سائل. (167)

التوتُّر السطحي surface tension
قوةٌ تشدُّ أجزاءً متجاورةً على سطحِ السائلِ بعضَها إلى بعض، مقلّصةً بذلك مساحةَ السطحِ إلى أدنى قيمةٍ ممكنة. (159)

تور torr
ضغطُ مليمترٍ زئبقيٍّ واحد. (107)

ث

ثابتُ الغازِ المثالي ideal gas constant
هو الثابتُ R الذي يساوي $0.08205784\ L \bullet atm/mol \bullet K$. (137)

ح

حالاتُ الأكسدة oxidation states
حالاتٌ للذرّاتِ أو الأيوناتِ في المركّبِ تُشتقُّ منها أعدادُ الأكسدة. (20)

الحساباتُ الكيميائيةُ للتركيب
composition stoichiometry
حساباتٌ تُعنى بالعلاقةِ الكتليةِ بين العناصرِ في المركّبات. (77)

الحساباتُ الكيميائيةُ المبنيةُ على التفاعل reaction stoichiometry
حساباتٌ تُعنى بالعلاقةِ الكتليةِ بين المتفاعلاتِ والنواتجِ في التفاعلِ الكيميائيّ. (77)

الحجمُ الموليُّ القياسيُّ للغاز
standard molar volume of gas
هو الحجمُ الذي يشغلُهُ مولٌ واحدٌ من الغازِ تحت شروطِ STP، ويبلغُ 22.4 L. (131)

الحرارةُ الموليةُ للانصهار
molar heat of fusion
هي كميّةُ الطاقةِ الحراريةِ اللازمةُ لانصهارِ مولٍ واحدٍ من المادةِ الصلبة عندَ درجةِ الانصهار. (174)

الحرارةُ الموليةُ للتبخير
molar heat of vaporization
هي كميةُ الطاقةِ الحراريةِ اللازمةُ لتبخيرِ مولٍ واحدٍ من السائلِ عندَ درجةِ الغليان. (172)

خ

الخاصيةُ الشعرية capillary action
هي انجذابُ سطحِ سائلٍ إلى سطحِ مادةٍ صلبة. (159)

د

درجةُ الانصهار melting point
هي درجةُ الحرارةِ التي تصبحُ عندَها المادةُ الصلبةُ سائلاً. (162)

درجةُ التجمُّد freezing point
هي درجةُ الحرارةِ التي يكونُ عندَها كلٌّ من الصلبِ والسائلِ في اتِّزانٍ تحتَ ضغطِ 1 atm (101.3 kPa). (173)

درجةُ الحرارةِ والضغطُ القياسيان
standard temperature and pressure
هما الشرطانِ القياسيانِ المتَّفقُ عليهما، وهما ضغطُ 1 atm، ودرجةُ الحرارةِ 0ºC. (108)

درجةُ الغليان boiling point
هي درجةُ الحرارةِ التي يكونُ عندَها الضغطُ البخاريُّ مساويًا للضغطِ الجوي. (171)

ر

الراسب percipitate
الصلبُ الذي ينتجُ من تفاعلٍ كيميائيٍّ في محلول. (47)

س

سلسلةُ النشاطية activity series
قائمةٌ بالعناصرِ الكيميائيةِ مرتّبةً بحسبِ سهولةِ انخراطِها في التفاعلاتِ الكيميائية. (68)

السوائلُ الفائقةُ التبريد
supercooled liquids
موادُّ تحتفظُ ببعضِ خصائصِ السوائل، حتى عندَ درجاتِ حرارةٍ تظهرُ الموادُّ عندها صلبة. (162)

السوائلُ المتطايرة volatile liquids
سوائلُ تتبخَّرُ بسهولة. (171)

ص

الصيغةُ الأولية empirical formula
أبسطُ نسبةٍ لرموزِ العناصرِ المتحدةِ في مركّب. (37)

الصفرُ المطلق absolute zero
هو درجةُ الحرارة –273.15ºC التي تعادلُ قيمةَ الصفرِ في مقياسِ كلفن. (113)

ض

الضغط pressure
هو القوّةُ المؤثِّرةُ على وحدةِ مساحةِ سطح. (104)

الضغطُ البخاري
the vapor pressure
هو الضغطُ الذي يؤثِّرُ به البخارُ في حالةِ اتّزانٍ مع سائلِه عندَ درجةِ حرارةٍ معيَّنة. (169)

الضغطُ الجزئي partial pressure
هو ضغطُ كلِّ غازٍ في الخليطِ الغازي. (119)

ع

عددُ أفوجادرو Avogadro's number
هو عددُ الجسيماتِ الموجودةِ في مولٍ واحدٍ من المادةِ النقية، وقد قُرِّبَ إلى 6.022×10^{23} (27)

غ

الغليان boiling
هو عمليةُ تحوُّلِ السائلِ إلى بخار، وتتمُّ داخلَ السائلِ وعلى سطحِه. يحدثُ الغليانُ عندَما يتساوى الضغطُ البخاريُّ للسائلِ مع الضغطِ الجوي. (171)

الغازُ الحقيقي real gas
غازٌ لا يحقِّقُ بشكلٍ كاملٍ فرضياتِ نظريةِ الحركةِ الجزيئية. (102)

الغازُ المثالي ideal gas
غازٌ خياليٌّ يحقِّقُ بشكلٍ كاملٍ كلَّ فرضياتِ نظريةِ الحركةِ الجزيئية. (99)

ق

قانونُ أفوجادرو Avogadro's law
الحجومُ المتساويةُ من الغازاتِ المختلفةِ تحتوي على العددِ نفسِه من الجزيئات، وذلك تحت الشروطِ نفسِها من ضغطٍ ودرجةِ حرارة. (130)

قانونُ بويل Boyle's law
يتناسبُ حجمُ كتلةٍ من الغازِ عكسيًّا مع الضغط، وذلك عند ثباتِ درجةِ الحرارة. (110)

قانونُ جايلوساك Gay-Lussac's law
يتناسبُ ضغطُ كتلةٍ معيّنةٍ من الغازِ طرديًّا مع درجةِ الحرارةِ بالكلفن، وذلك عند ثباتِ الحجم. (116)

قانونُ جايلوساك لحجومِ الغازاتِ المتَّحدة
Gay-Lussac's law of combining volumes of gases
يمكنُ أن يُعبَّرَ عن حجومِ المتفاعلاتِ والنواتجِ الغازيةِ بنسبٍ عدديةٍ بسيطة، وذلك عند ثباتِ درجةِ الحرارةِ والضغط. (129)

قانونُ جراهام للتدفّق
Graham's law of effusion
يتناسبُ معدَّلُ تدفُّقِ الغازاتِ عكسيًّا مع الجذرِ التربيعيِّ لكتلِها المولية، وذلك تحت الشروطِ نفسِها من درجةِ حرارةٍ وضغط. (147)

قانونُ دالتون للضغوطِ الجزئية
Dalton's law of partial pressure
الضغطُ الكليُّ لمزيجٍ من غازاتٍ يساوي مجموعَ الضغوطِ الجزئيةِ للغازاتِ التي يتكوَّنُ منها. (119)

قانونُ شارل Chrale's law
يتناسبُ حجمُ كتلةٍ من الغازِ طرديًّا مع درجةِ الحرارةِ بالكلفن، وذلك عند ثباتِ الضغط. (113)

القانونُ العام للغازات
combined gas law
علاقةٌ رياضيةٌ تربطُ بين ضغطِ كميةٍ معيَّنةٍ من الغازِ وحجمِها ودرجةِ حرارتِها. (117)

قانونُ الغازِ المثالي ideal gas law
علاقةٌ رياضيةٌ تربطُ بين ضغطِ الغازِ وحجمِهِ ودرجةِ حرارتِه وعددِ مولاتِه. (135)

قوانينُ الغازات gas laws
علاقاتٌ رياضيةٌ بسيطةٌ بين حجمِ الغازِ ودرجةِ حرارتِه وضغطِه وكميتِه. (109)

ك

كتلةُ الصيغة formula mass
مجموعُ معدَّلاتِ الكتلِ الذرّيةِ للذرّاتِ الممثّلةِ في الصيغة. (25)

الكتلةُ المولية molar mass
كتلةُ مولٍ واحدٍ من مادةٍ نقية. (27)

م

المتفاعلُ الفائض excess reactant
المادةُ التي تبقى فائضةً بعدَ انتهاءِ التفاعلِ الكيميائي. (89)

المتفاعلُ المحدِّد limiting reactant
المادّةُ التي تُستهلَكُ أولاً في التفاعلِ الكيميائيِّ فيتوقفُ عندها إنتاجُ الناتج. (89)

المردودُ الفعلي actual yield
الكميةُ المقيسةُ من ناتجٍ في تفاعلٍ كيميائي. (91)

المردودُ النظري theoretical yield
كميةُ الناتجِ القصوى المحسوبةُ نظريًّا في الحساباتِ الكيميائية. (91)

مركّباتٌ ثنائية binary compounds
مركّباتٌ يتألفُ كلٌّ منها من عنصرين مختلفين. (10)

معادلةٌ بالصيغ formula equation
المعادلةُ الكيميائيةُ التي تتمثلُ فيها المتفاعلاتُ والنواتجُ بالرموزِ والصيغ. (49)

المعادلةُ بالكلمات word equation
المعادلةُ الكيميائيةُ التي تتمثلُ فيها المتفاعلاتُ والنواتجُ بالكلمات. (49)

المعادلةُ الكيميائية
chemical equation
مجموعةُ الرموزِ والصيغِ التي تمثلُ العناصرَ والمركباتِ الداخلةَ في التفاعلِ، وتلك الناتجةَ عنه، وكمياتِها النسبية. (47)

المعامل coefficient
رقمٌ صحيحٌ يظهرُ أمامَ الصيغِ في المعادلةِ الكيميائية. (48)

الملح salt
صُلبٌ ناتجٌ عن تفاعلِ حمضٍ وقاعدة. (19)

المول mole
كميةُ المادةِ التي تحتوي على عددٍ من الجسيماتِ يساوي عددَ الذرّاتِ في 12 g من كربون-12. (26)

مبدأُ لو شاتيلييه
Le Chatelier's principle
عندما يخضعُ نظامٌ في حالةِ اتزانٍ لأيِّ تأثير، فإن هذا النظام يتجهُ نحو وضعيةِ اتزانٍ جديدٍ تقللُ إلى أدنى حدٍّ التأثيرَ الواقعَ عليه. (168)

مليمتر زئبق millimeter of mercury
وحدةُ ضغطٍ شائعةُ الاستعمال. (107)

الموائع fluids
موادٌّ يمكنُ أن تنساب، ولذلك تأخذُ شكلَ الإناءِ الذي توجدُ فيه، مثلُ السوائلِ والغازات. (100)

الموادُّ الصلبةُ البلّورية
crystalline solids
موادٌّ صلبةٌ تتكوَّنُ من بلّورات. (162)

الموادُّ الصلبةُ اللابلّورية
amorphous solids
موادٌّ صلبةٌ تكونُ الجسيماتُ فيها مرتَّبةً بشكلٍ عشوائي. (162)

ن

النسبةُ المئويةُ للتركيب
percentage composition
النسبةُ المئويةُ الكتليةُ لجميعِ عناصرِ المركّب. (34)

النسبةُ المئويةُ للمردود percent yield
النسبةُ المئويةُ للمردودِ الفعليِّ إلى المردودِ النظري. (91)

النسبةُ المولية mole ratio
معاملُ تحويلِ كميتَيّ مادتينِ في تفاعلٍ كيميائيٍّ إلى مولات. (78)

نظريةُ الحركةِ الجزيئية
kinetic-molecular theory
نظريةٌ مبنيَّةٌ على فكرةِ أن جسيماتِ المادةِ تكونُ في حركةٍ دائمة. (99)

نيوتن Newton
وحدةُ SI للقوة. وهي القوةُ التي تزيدُ من سرعةِ كتلةِ كيلوجرامٍ واحدٍ مترًا واحدًا في الثانية، كلَّ ثانيةٍ تطبَّقُ القوةُ خلالَها. (105)

و

وحدةُ الخلية unit cell
أصغرُ جزءٍ للشبكةِ البلّوريةِ يبيِّنُ النموذجَ الثلاثيَّ الأبعادِ للشبكةِ بكاملِها. (163)

وحدةُ الضغطِ الجوّي
atmosphere of pressure
تساوي تمامًا 760 mm Hg. (107)

